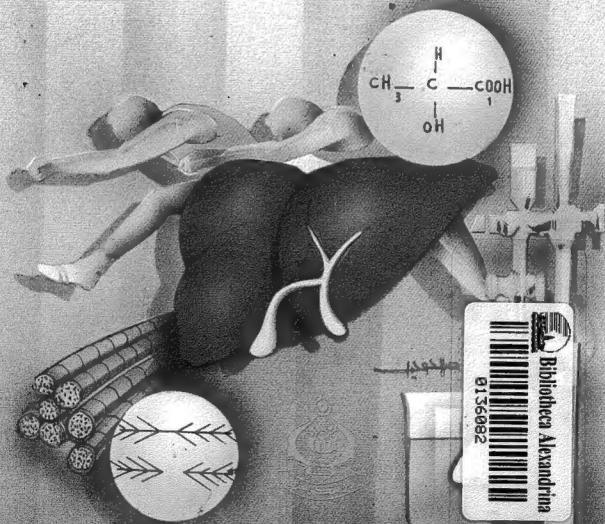


التمثيل الحيوي للطاقة

في الحبال الزينية

الدكتور محمد الدين إبراهيم سلامة



التمثيل الحيوى للطاقة فى المجال الرياضى

الأستاذ الدكتور

بهاء الدين إبراهيم سلامة

أستاذ فسيولوجيا الرياضة

رئيس قسم علوم الصحة الرياضية

كلية التربية الرياضية جامعة المنيا

١٤١٩هـ / ١٩٩٩م

ملتزم الطبع والنشر

دار الفكر العربى

الإدارة : ٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة

ت : ٢٧٥٢٩٨٤ ، فاكس : ٢٧٥٢٧٣٥

٦١٧، ١٠٢٧ بهاء الدين إبراهيم سلامة.

ب ه ت م التمثيل الحسيوى للطاقة فى المجال الرياضى / بهاء الدين
إبراهيم سلامة. - القاهرة: دار الفكر العربى، ١٩٩٩.

٢١٣ ص: إيض؛ ٢٠ سم.

بيلوجرافية: ص ٢٠٩-٢١٣.

يشتمل على ثبت بالمصطلحات المتصلة بموضوع الكتاب.

تدمك: ٠ - ١٢١٥ - ١٠ - ٩٧٧.

١- الطب الرياضى. أ- العنوان.

تصميم وإخراج فنى

أحمد محمد هاشم نجم



مقدمة الطبعة الأولى

تهتم العلوم البيولوجية بدراسة مظاهر الحياة فى الكائن الحى، وذلك لأن شكل ووظيفة الجسم وأجزائه المختلفة عبارة عن وحدة واحدة متكاملة، ولذلك لا يمكن دراسته كأجزاء مستقلة عن بعضها البعض.

ويؤدى التدريب البدنى إلى تغيرات فسيولوجية وكيميائية داخل الخلية العضلية لإطلاق الطاقة اللازمة للأداء الرياضى، نتيجة زيادة نشاط الهرمونات والإنزيمات ومواد الطاقة التى تشترك فى عمليات التمثيل الغذائى.

ويتوقف تقدم المستوى البدنى والرياضى للفرد على مدى إيجابية التغيرات الكيميائية بما يحقق التكيف لأجهزة وأعضاء الجسم لكى تواجه الجهد والتعب الناتج عن التدريب البدنى.

وترتبط عمليات التمثيل الغذائى والعمليات الحيوية المختلفة التى تتم فى الخلايا ارتباطا وثيقا بعمليات التمثيل الحيوى للطاقة، حيث تشير إلى حالة اتزان العمليات الكيميائية فتتكون مركبات بسيطة من مركبات أخرى أكثر تعقيدا، ثم يصحب ذلك إنتاج طاقة يمكن للفرد استخدامها فى نشاطه اليومى، وكذلك عند ممارسة التدريبات البدنية المختلفة.

ويعد علم الكيمياء الحيوية أحد فروع العلوم البيولوجية الذى يعنى بدراسة كيمياء العمليات الحيوية والتركيب الكيميائى لمختلف المواد الغذائية، وهو يدرس أيضا التغيرات الكيميائية التى تحدث أثناء إطلاق الطاقة.

ويرى المؤلف أن المعلومات الفسيولوجية والكيميائية لا يمكن الفصل بينها عند دراسة أى ظاهرة من ظواهر الحياة فى الفرد؛ سواء فى حالة الراحة أو عند التدريب البدنى، بل يرى المؤلف ضرورة الإلمام بهما معا حيث يؤثر كل منهما فى الآخر، ويساعد التعرف على التغيرات الكيميائية التى تحدث داخل الجسم إلى سهولة التعرف على التغيرات الفسيولوجية وأسباب حدوثها.

وقد دعت الحاجة التى لمسها المؤلف من الخبرة العملية فى تدريس مواد علوم الصحة الرياضية إلى ضرورة توافر مرجع يتناول عمليات التمثيل الحيوى للطاقة عند ممارسة التدريب البدنى؛ لأهمية ذلك فى فهم مختلف التغيرات التى تحدث للجسم وأسباب كل منها، وخاصة أن هناك نقصا فى المراجع العربية التى تناولت هذا الموضوع الهام.

من أجل ذلك تم اختيار موضوعات هذا الكتاب بعناية لتتمشى مع احتياجات الطلاب والباحثين فى كليات التربية الرياضية، حيث اشتمل الكتاب على عمليات التمثيل الحيوى للمواد الكربوهيدراتية والدهنية والبروتينية بعد هضمها وامتصاصها وكيف تتم الاستفادة منها أثناء التدريبات البدنية.

واشتمل الكتاب أيضا على موضوعات الطاقة فى عمليات التمثيل الحيوى والوظائف الحيوية للهورمونات والإنزيمات، وكذلك التمثيل الهوائى واللاهوائى للطاقة وغيرها من الموضوعات الحيوية التى تهتم بالباحثين والطلاب فى مجال العلوم البيولوجية وعلوم التربية الرياضية.

ويسعد المؤلف أن يقدم هذا الكتاب الجديد فى عنوانه ومحتوياته وفكرته إلى جميع العاملين فى مجال الرياضة والتربية الرياضية، وأمل أن يحقق الهدف الذى نرجوه له وأن يسد نقصا فى المكتبة العربية.

والله الموفق..

المؤلف

الأستاذ الدكتور

بهاء الدين إبراهيم سلامة

١٩٩٩

قائمة المحتويات

الموضوع	رقم الصفحة
- مقدمة الطبعة الاولى	٣
- الفهرس	٥

الفصل الأول

التمثيل الغذائي للكريوهيدرات في العضلات

الإرادية أثناء التدريب البدنى

١٥	- المقدمة
١٧	- تحليل الجلوكوجين واستهلاك الجلوكوز بالعضلات
١٧	- العوامل المحددة في استهلاك الجلوكوز بالعضلات
١٨	١- العوامل المحلية أو الموضعية
٢٠	٢- التنظيم الهرموني
٢١	٣- توفر المادة
٢٣	- العوامل المؤثرة في تمثيل كبروهيدرات العضلات أثناء التدريب البدنى
٢٣	١- نوعية التمرين
٢٤	٢- طريقة التدريب
٢٤	٣- الغذاء
٢٤	٤- درجة حرارة البيئة المحيطة
٢٦	٥- الجنس
٢٧	- تمثيل الطاقة الكبدية أثناء التدريب البدنى

- ٣٠ - خروج الجلوكوز من الكبد أثناء التدريب البدني
- ٣٣ - تنظيم خروج جلوكوز الكبد بطريقة التعويض أثناء التدريب
- ٣٥ - علاقة التغذية المستمرة بتدفق جلوكوز الكبد أثناء التدريب

الفصل الثاني

التمثيل الغذائي للدهون أثناء التدريب البدني

- ٤٣ - المقدمة
- ٤٤ - الدهون
- ٤٤ - تمثيل الأحماض الدهنية ببلازما الدم
- ٤٥ - تحليل النسيج الدهني
- ٤٥ - تأثير التدريب على الشدة على تحليل الدهون
- ٤٦ - التنظيم الهرموني لتحلل الدهني
- ٤٧ - النظام الهرموني لليبار
- ٤٧ - تأثير تركيز الجلوكوز.
- ٤٧ - كفاءة نقل الأحماض الدهنية الحرة
- ٤٨ - نقل الأحماض الدهنية الحرة في بلازما الدم
- ٤٨ - نفاذ الأحماض الدهنية الحرة خلال الأغشية البلازمية
- ٥٠ - نقل الأحماض الدهنية الحرة عبر السيتوبلازم
- ٥١ - البناء والهدم داخل الخلية
- ٥٣ - الكوليسترول
- ٥٣ - تأثير التدريب على الكوليسترول

الفصل الثالث

التمثيل الغذائي للبروتينات

- ٥٩ - المقدمة
- ٥٩ - تخليق البروتين
- ٦٠ - هدم البروتين
- ٦١ - هدم البروتين في النشاط الرياضى
- ٦٢ - فوائد البروتينات
- ٦٢ - التقسيم الكيميائى للبروتين
- ٦٢ - البروتينات البسيطة
- ٦٣ - البروتينات المركبة
- ٦٤ - الأحماض الامينية
- ٦٥ - تمثيل الأحماض الامينية
- ٦٥ - مجموعة الأمينو
- ٦٦ - محولات بعض الأحماض الامينية فى العمليات الحيوية
- ٦٦ - كرياتين وكرياتينين
- ٦٦ - أرجينين
- ٦٧ - سيستين
- ٦٧ - تربتوفان
- ٦٧ - الأحماض النووية
- ٦٧ - البروتامينات والهستونات
- ٦٨ - تركيب الأحماض النووية
- ٦٩ - تركيب النيوكليوتيد والنيوكلوزيد

الفصل الرابع

الطاقة في عمليات التمثيل الغذائي

٧٣	المقدمة
٧٣	- المرحلة الأولى
٧٣	- المرحلة الثانية
٧٤	- المرحلة الثالثة
٧٥	- المركبات ذات الطاقة العالية
٧٥	- المركبات ذات الطاقة المنخفضة
٧٦	- ثلاثي أدينوزين الفوسفات
٧٧	- أكسدة الكربوهيدرات
٧٨	- الأكسدة اللاهوائية
٨٦	- الأكسدة الهوائية

الفصل الخامس

الوظائف الحيوية للهورمونات

٩٥	- المقدمة
٩٦	- الفرق بين الهورمون والفيتامين
٩٦	- تقسيم الهورمونات
٩٧	- الهورمونات المشتقة من الأحماض الأمينية
٩٩	- الأدرنالين والعمليات الحيوية بالجسم
١٠١	- الثيوركسين والعمليات الحيوية بالجسم
١٠٢	- الهورمونات البروتينية.
١٠٣	- الأنسولين والعمليات الحيوية بالجسم
١٠٤	- هورمون جارات الدرقية

- ١٠٥ - هورمونات الجهاز الهضمي
- ١٠٦ - هورمونات الغدة النخامية
- ١٠٧ - الهورمونات الستيرويدية:
- ١٠٨ - الكورتيزول والعمليات الحيوية بالجسم
- ١٠٨ - الهورمونات الجنسية للذكر والانثى
- ١٠٩ - الاستجابات الهورمونية للتدريب البدني ..
- ١١٠ - السريعة
- ١١٠ - المعتدلة
- ١١٠ - المتأخرة

الفصل السادس

الوظائف الحيوية للإنزيمات

- ١١٧ - المقدمة
- ١٢٠ - تقسيم الإنزيمات
- ١٢١ - المؤكسدة
- ١٢١ - الناقلة
- ١٢١ - المحللة
- ١٢١ - النازعة
- ١٢٢ - المحولة
- ١٢٢ - الرابطة
- ١٢٣ - المرافقات الإنزيمية والمجموعات المرتبطة
- ١٢٥ - الإنزيمات المساعدة الناقلة للهيدروجين
- ١٢٥ - الإنزيمات المساعدة الناقلة لمجموعة تحوى على ذرة كربون
- ١٢٥ - الإنزيمات المساعدة الناقلة للأميل

- ١٢٦ - الإنزيمات المساعدة الناقلة للفوسفات
- ١٢٦ - المجموعات المرتبطة
- ١٢٦ - مجموعة الفلافين
- ١٢٧ ١ - فوسفات البيريدوكسيل
- ١٢٧ ٢ - فيامين يروفوسفات
- ١٢٨ ٣ - الإنزيمات الهضمية

الفصل السابع

التمثيل الهوائي للطاقة

- ١٣١ - المقدمة
- ١٣٢ - أنواع القدرات الهوائية
- ١٣٣ - فسيولوجيا القدرات الهوائية
- ١٣٣ - إنتاج الطاقة بنظام الأكسجين
- ١٣٤ - الجلوكوز الهوائية
- ١٣٤ - دورة كريبز
- ١٣٦ - تمثيل الجلوكوز والجليكوجين أثناء العمل البدني الهوائي
- ١٤٠ - الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين
- ١٤٢ - الحد الأقصى المطلق والنسبي لاستهلاك الأكسجين

الفصل الثامن

التمثيل اللاهوائي للطاقة

- ١٤٧ - المقدمة
- ١٤٨ - أنواع القدرات اللاهوائية
- ١٤٩ - فسيولوجيا القدرات اللاهوائية
- ١٤٩ - النظام الفوسفاتي
- ١٥١ - نظام حامض اللاكتيك
- ١٥٣ - بعض المفاهيم عن حامض اللاكتيك

- ١٥٤ - استخدام حامض اللاكتيك كمصدر للطاقة
- ١٥٥ - تحليل الجلوكوز لاهوائيا
- ١٥٧ - العتبة الفارقة اللاهوائية

الفصل التاسع

عمليات الاستشفاء

- ١٦٩ - المقدمة
- ١٧٣ - تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات
- ١٧٤ - سرعة تكوين الفوسفات
- ١٧٦ - طاقة تجديد الفوسفات
- ١٧٧ - تجديد مخازن الجليكوجين بالعضلات
- ١٧٨ - جليكوجين الكبد والعضلات
- ١٧٨ - سرعة امتلاء العضلات بالجليكوجين
- ١٨١ - امتلاء المايوجلويين بالأوكسجين
- ١٨٣ - امتلاء مخازن أوكسيما يوجلويين
- ١٨٣ - الأوكسيما يوجلويين والدين الأكسجين
- ١٨٤ - التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم
- ١٨٥ - سرعة التخلص من حامض اللاكتيك
- ١٨٨ - تأثير التمرينات على التخلص من حامض اللاكتيك
- ١٨٩ - فترات الاستشفاء في التدريب الرياضي
- ١٩٢ - مستخلص عمليات الاستشفاء

الفصل العاشر

المصطلحات المتصلة بموضوع الكتاب

المراجع

٢٠٩



الفصل الأول

التمثيل الغذائي للكريوهيدرات في العضلات الإرادية

أثناء التدريب البدني



- مقدمة:
- تحليل الجليكوجين واستهلاك الجلوكوز بالعضلات
- العوامل المحددة في استهلاك الجلوكوز بالعضلات
- العوامل المحلية أو الموضعية
- التنظيم الهرموني
- العوامل المؤثرة في تمثيل كربوهيدرات العضلات أثناء التدريب البدني
- نوعية التمرين
- طريقة التدريب
- الغذاء
- درجة حرارة البيئة المحيطة
- الجنس
- تمثيل الطاقة الكبدية أثناء التدريب البدني
- خروج الجلوكوز من الكبد أثناء التدريب البدني
- تنظيم خروج جلوكوز الكبد بطريقة التعويض أثناء التدريب
- علاقة التقنية المستمرة بتدفق جلوكوز الكبد أثناء التدريب

- التمثيل الغذائي للكريوهيدرات في العضلات الإرادية أثناء التدريب البدني:

Skeletal Muscle Carbohydrate Metabolism During Training:

المقدمة:

منذ السنوات الأولى من هذا القرن ازدادت الحاجة من قبل العاملين في مجال فسيولوجيا الرياضة والتدريب الرياضي للتعرف على أهمية المواد الكربوهيدراتية كمصدر للطاقة أثناء التدريب البدني بمختلف أنواعه، مما دفعهم إلى إجراء البحوث والدراسات العملية والميدانية بغية التوصل إلى مختلف التغيرات التي تحدث أثناء التدريب، واعتمدت تلك الدراسات على قياسات نسبة التغيرات السيوكيميائية في الدم والعضلات أثناء التدريب البدني الهوائي واللاهوائي.

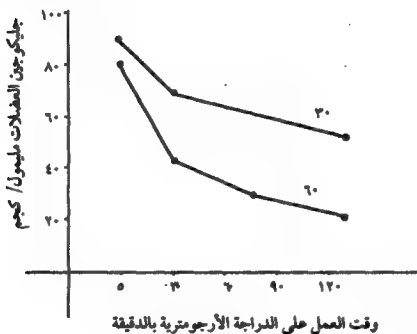
وركزت معظم هذه الدراسات على قياس نسبة تركيز الجلوكوز، (المشع والمباشر من خلال الشرايين والأوردة) وقد اختلفت نسبة تركيز الجلوكوز في الأطراف التي تعمل، ودلت نتائج عديد من الأبحاث على أن نسبة تركيز الجلوكوز بالعضلات العاملة تزداد أثناء التدريبات البدنية التي تتصف بالتحمل.

وقد طبقت في السابق (فترة الستينيات ١٩٦٠) طريقة أخذ عينة بالإبرة من العضلة في أثناء التدريب وأكدت على أهمية ومقدرة جليكوجين العضلة (Muscle Glycogen) في إنحجار التدريب البدني الذي يتصف بالتحمل.

وعبر آخر (٢٥ سنة) أثبتت نتائج الأبحاث المعملية التي أجريت على الرياضيين أنه توجد نتائج غاية في الأهمية عن مدى تأثير المجهود البدني العنيف على عمليات تمثيل الكربوهيدرات في العضلات الإرادية، واستخدمت طرق عديدة في التدريب والقياس حتى الوصول إلى مرحلة التعب (Fatigue) أثناء الأداء، وأهمية الاهتمام بعمليات التغذية أو الإعداد الغذائي للرياضيين على غرار الإعداد البدني أو الإعداد الفني للألعاب والرياضات المختلفة.

جليكوجين العضلة وجلوكوز الدم (Muscle Glycogen and Blood Glucose) من المواد المهمة جدا في تكوين ما يعرف بـ ATP أثناء الانقباض العضلي، وتقيد نتائج الدراسات الحديثة في هذا المجال أهمية كل منهما أثناء التدريبات البدنية الطويلة، كما أشارت تلك الدراسات إلى أن التعب العضلي غالبا ما يكون مصحوبا بنقص في جليكوجين العضلة أو جلوكوز الدم، كما أن نقص أى منهما يؤدي إلى نقص في حامض البيروفك (Pyruvic Acid) وهذا بدوره يؤثر على تكوين أستيل كوانزيم (Acetyl CoA) وكذلك تتأثر التفاعلات التي تساعد في تكوين مادة تراهي كربوكسيل TCA (Tricarboxylic) وكل ذلك يؤثر سلبا في عمليات الأكسدة الخاصة بالأحماض الحرة والأحماض الأمينية (Free Fatty and Amino acid).

توجد مادة بالعضلة تسمى إينوزين مونو فوسفات (Inosine Monophosphate) IMP، تبين أنها تزداد عند نقطة التعب العضلي، وهي مرتبطة بتكوين مادة ATP، وقد وجد أن مستوى تركيز ATP بالعضلة يقل من ١٠-١٥٪، وقد تبين أن مستوى ATP بالعضلة لا يقل أثناء التمرينات الطويلة أو المستمرة، وأن إمداد العضلات بالكربوهيدرات أثناء التدريب يتسبب في بقاء مستوى ATP ودورته بالدم وذلك يساعد على تقليل تراكم IMP بالعضلة.



شكل (١) جليكوجين العضلة أثناء العمل على الدراجة الأرجومترية

عن (جولنك وآخرون ١٩٨٨، 1988 Gollnicke et al)

تحلل الجليكوجين واستهلاك الجلوكوز بالعضلات:

Muscle Glycogen Breakdown and Glucose uptak:

تستخدم القياسات البيوكيميائية والهستوكيميائية في التعرف على نسبة تركيز الجليكوجين في العضلات الإرادية أثناء التدريبات البدنية المختلفة، ويختلف تحلل الجليكوجين بهذه العضلات تبعاً لشدة ودوام التدريبات وأيضاً تبعاً لنوع الألياف العضلية. وقد اهتم كثير من الباحثين بهذا الموضوع بهدف التوصل إلى معايير محددة لشدة التمرينات التي عندها يزداد أو يقل تحلل جليكوجين العضلات.

وتشير نتائج دراسات عديدة في هذا المجال إلى أن تركيز جليكوجين العضلات ينخفض عند التدريب البدني عالي الشدة، كما وجد أنه عند أداء التمرينات البدنية متوسطة الشدة ولمدة طويلة وعند معدل من ٦٠-٧٥٪ من أقصى استهلاك للأكسجين لا يتأثر كثيراً تحلل جليكوجين العضلات، وتؤثر أنواع الألياف العضلية (البياض والحمر) في نسبة هذا التحلل.

ويؤدي الانقباض العضلي إلى زيادة في استهلاك الجلوكوز، وكذلك زيادة إفراز الأنسولين الذي يساعد على تلك الزيادة، وأثبتت إحدى الدراسات الهامة، في هذا المجال، أنه في حالة الراحة تستهلك العضلات من ١٥-٢٠٪ من نسبة الجلوكوز بالدم، بينما عند العمل على الدراجة الأرجومترية بشدة من ٥٥-٦٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين تبين أن عضلات الرجلين المشتركة في العمل على الدراجة أدت إلى زيادة في استهلاك الجلوكوز بلغت من ٨٠-٨٥٪ من مجموع الجلوكوز الموجود بالجسم.

وتجدر الإشارة إلى أن عملية توصيل وانتشار الجلوكوز بالخلايا العضلية يحدده عدة عوامل، ويتأثر بكثير من المواقف التي يتعرض لها الفرد الرياضي والتي تساعد بقدر أو بآخر في قلة أو زيادة استهلاك الجلوكوز أثناء التمرينات البدنية مختلفة الشدة.

العوامل المحددة في استهلاك الجلوكوز بالعضلات:

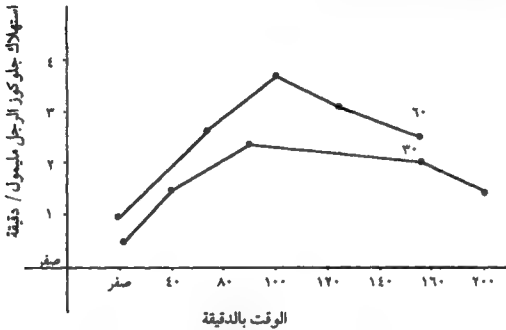
Regulation of Skeletal Muscle Glucose Uptake:

على الرغم من زيادة تحلل الجليكوجين لإنتاج الجلوكوز، وكذلك زيادة إنتاج الأنسولين (Insulin) أثناء التمرينات البدنية يلاحظ أن هناك مجموعة من العوامل تتداخل وتفاعل جميعاً لتحديد الزيادة في استهلاك الجلوكوز بالعضلات، وسوف نلقى الضوء على هذه العوامل كما يلي:

١- العوامل المحلية أو الموضعية: Local Factors

تعتبر العوامل الموضعية أو المحلية (Local Factors) من بين أهم عوامل كثيرة تساعد على زيادة استهلاك الجلوكوز بالعضلات.

ونشير هنا إلى أن نقل الجلوكوز (Glucose Transport) عبر غشاء الخلية العضلية يتم بآلية تعمل على دخول وتغلغل ميسور للجلوكوز من خلال عملية غير معتمدة على الطاقة، ولكنها تعتمد على آلية وميكانيكية التشبع من خلال الحامل الغشائي أو العابر الغشائي للخلية.



شكل (٢) استهلاك الجلوكوز أثناء العمل على الدراجة الأرجومترية

عن (البورج وآخرين، 1992Ahlborg, et al)

وقد أثبتت نتائج الدراسات المعملية في هذا المجال أن نفاذ الجلوكوز عبر غشاء الخلية يزداد أثناء التمرينات البدنية، وتفيد نتائج دراسات أخرى في هذا المجال أن هذه الزيادة في النفاذية تتم نتيجة تنشيط وتحريك المخزون داخل الخلية العضلية، كما أن زيادة نقل الجلوكوز واستهلاكه يكون أكثر من زيادة نفاذيته في غشاء الخلية.

وتوجد بعضلات جسم الإنسان مجموعة من المواد التي تساعد على تسهيل نفاذ الجلوكوز داخل الخلايا، وهذه المسهلات أو المحفزات تعرف باسم إيزو فورم (Isoforms) ومنها مادة تعرف بـ (Glut 1)، (Glut 4)، ويعتقد أن (Glut 1) ينتج من الأعصاب الحركية والأوعية الدموية داخل الخلايا العضلية.

وتشير نتائج الدراسات الحديثة فى هذا المجال إلى أن الانقباض العضلى ينتج عنه زيادة فى مادة (Glut 4) وأن مستواه فى العضلة يرتبط ويتناسب مع قابلية الأكسدة ونوعها، ويتناسب أيضا مع زيادة حمل التدريب أو مع العمر التدريبى للرياضى.

كما أن زيادة الكالسيوم فى ساركوبلازم الخلية (Calcium) (Sarco Plasmic) أثناء الانقباض العضلى غالبا ما يؤثر فى تنشيط نقل الجلوكوز والأكسجين وبطريقة ميكانيكية منتظمة تعتمد على إيقاع العمل البدنى، وتلك التأثيرات للكالسيوم يمكن أن تتم عن طريق تغيير وتنشيط البروتين كيناز (Protein Kinase) ورغم ذلك فإن هذا المجال مازال تحت الدراسة من قبل الباحثين حيث إن العلاقة بين النشاط الانقباضى وتمثيل الفوسفو إينوسيتول (Phosphoinositol) ونقل الجلوكوز (Glucose transport) غير واضحة تماما حتى الآن.

فى معظم الأحيان تعتبر عملية النقل الغشائى للجلوكوز محدودة بالنسبة لاستهلاك العضلة، وذلك على الرغم من أن عملية فسفرة الجلوكوز واستهلاكه تعتبر عملية معقدة ومحيرة فى أثناء التدريب متوسط الشدة، أما عند التدريب عالى الشدة فإن مستوى الجلوكوز الفوسفاتى (Glucos-6-P) يزداد مما يؤدي إلى الإسراع فى عملية تحلل الجليكوجين، وذلك يؤدي إلى تثبيط فسفرة الجلوكوز واستهلاكه.

إن التمثيل الغذائى داخل الخلية العضلية المنقبضة من الممكن أن يؤثر على استهلاك العضلة من الجلوكوز، كما أن نقص الأكسجين يحفز نقل الجلوكوز واستهلاكه، ونقص الأكسجين والتدريب يؤديان إلى تسهيل نقل الجلوكوز عن طريق ميكانيكية واحدة، والعمل البدنى اللاهوائى يؤدي إلى زيادة استهلاك الجلوكوز.

وتفيد نتائج دراسات عديدة أن امتصاص الجلوكوز ونقله واستهلاكه أثناء التدريب البدنى يرتبط بالسعة التنفسية لدى الفرد الرياضى، وهو يرتبط بمستوى الكرياتين فوسفات (Creatine Phosphate) حيث إنه عند مستوى من ٥٥-٦٥٪ من أقصى استهلاك

للاكسجين يكون امتصاص ونقل الجلوكوز عاليا لدى الرياضيين المدربين، بينما ينخفض لدى غير المدربين.

٢- التنظيم الهرموني، Hormonal Regulation

يعتبر النظام أو التنظيم الهرموني (Hormonal Regulation) ذا علاقة وطيدة باستهلاك الجلوكوز، حيث يؤدي هورمون الأنسولين (Insulin) دورا بالغ الأهمية في تنظيم امتصاص الجلوكوز، مما أثار اهتمام الباحثين في مجال فسيولوجيا الجهد البدني في الفترة الأخيرة.

وكان الاعتقاد السائد هو أن كمية معينة من الأنسولين تكون مسئولة عن زيادة امتصاص العضلات للجلوكوز أثناء المجهود العضلي، على الرغم من أن مستوى الأنسولين في بلازما الدم يقل أثناء القيام بجهد بدني، ولكن ثبت مؤخرا من نتائج البحوث الحديثة في هذا المجال أن الانقباض العضلي يمكنه أن يزيد امتصاص العضلات للجلوكوز، كما يساعد على زيادة عدد ناقلات الجلوكوز في الغشاء البلازمي حتى في حالة نقص هورمون الأنسولين.

كما أن تأثير المجهود العضلي في نقل الجلوكوز يكون أساسا مصاحبا لعمليات الانقباض، كما لاحظت دراسات عديدة أن تأثير الأنسولين والانقباض العضلي يكون إضافيا؛ نظرا لأن الأنسولين والتسمين ينشطان عمليات نقل الجلوكوز عن طريق ميكانيكية مختلفة مع الوضع في الاعتبار أن كلا من الأنسولين والانقباض العضلي يساعدان على تبادل موضع (Glut 4) وأنهم يشغلون أقطاب مختلفة في عمليات النقل الإلكتروني داخل غشاء الخلية العضلية.

إن قابلية نشاط فعل الأنسولين في عضلات الإنسان ومستقبلاته بنفس العضلات غير مرتبطة أو متعلقة بالتدريب البدني مرتفع الشدة، وكذلك فإن الأنسولين لا يبدو مهما في تثبيط نقل الجلوكوز وامتصاصه عبر العضلات أثناء التمرين.

إلا أن ذلك لا يقودنا إلى القول بأن الأنسولين ليس له أهمية في امتصاص الجلوكوز أثناء التدريب البدني منخفض أو مرتفع الشدة.

إن التدريب البدني تظهر أهميته في أنه يساعد على زيادة حسامية العضلات لمفعول الأنسولين، ومع زيادة مرور الدم بالعضلة نتيجة زيادة نشاط الدورة الدموية

الشريانية أثناء الجهد البدني فإنه يمكن التغلب جزئيا على نقص نسبة الأنسولين في بلازما الدم، وقد اتضح أن نسبة تأثير الأنسولين والتدريب البدني على امتصاص العضلة للجلوكوز هو تأثير متأور أو تأثير متصل بعضه ببعض الآخر.

وكذلك الزيادة في نسبة تدفق الجلوكوز المصاحب للتدريب ممكن أن تزيد من عمليات أكسدة الجلوكوز عند التأثير الأعلى للأنسولين.

وعند زيادة نسبة الأنسولين بدرجة ملحوظة في بداية التدريب البدني يتبع انخفاض حاد في الجلوكوز بالدم كنتيجة طبيعية لزيادة أكسده أثناء الانقباض العضلي.

وقد ثبت أن نقص الأنسولين يضعف من امتصاص الجلوكوز بنسبة حوالي ٥٪ في الأفراد المدربين ويؤثر على عمليات تحلل الدهون، وربما له تأثير على تحلل الجليكوجين.

ونظرا لأن التداخل بين الأنسولين والتدريب البدني قد تمت دراسته فإن دور هورمون الإدرناليين يؤثر على تغيير استهلاك العضلات للجلوكوز، حيث يعمل على زيادة نقل الجلوكوز عبر غشاء الخلية.

٣- توفر المادة ، Substrat Availability

هذا العامل (Substrate Availability) يعمل على توضيح العلاقة بين توفر الجليكوجين داخل العضلة واستهلاك تلك العضلة للجلوكوز أثناء التدريب البدني.

أوضحت الدراسات في هذا المجال أن استهلاك الجلوكوز يعتمد على انخفاض الجليكوجين في العضلة، كما أن فقد الجليكوجين في العضلة غير المتقبضة أثناء التدريب البدني يصاحبه زيادة في نقل الجلوكوز على الرغم من احتمالية وجود بعض المخفضات الهرمونية.

وفد وجدت علاقة عكسية بين جليكوجين العضلة وامتصاص تلك العضلة للجلوكوز وهي تعكس ببساطة شديدة التأثير المنفرد للتدريب البدني على تحلل الجلوكوز وامتصاصه من قبل العضلات.

إن التدريب البدني وتناول الغذاء الصحي الغني بالمواد الكربوهيدراتية (جليكوجين العضلة) قبل التدريب بوقت كاف يؤدي إلى تغيرات في امتصاص العضلة للجلوكوز أثناء التدريب، كما أن انخفاض جليكوجين العضلة دائما ما يكون مصحوبا بزيادة في

استخلاص الجلوكوز من الدم أثناء التدريب البدني، كما أن عملية امتصاص وأكسدة الجلوكوز يتناسب تناسباً طردياً مع نسبة الألياف العضلية العاملة.

وأثبتت نتائج دراسة حديثة أن زيادة جليكوجين العضلة قبل التدريب ينقص من امتصاص الجلوكوز، بينما نقص جليكوجين العضلة قبل التمرين يؤدي إلى زيادة امتصاص الجلوكوز.

ومن المتعارف عليه أن تناول المواد الكربوهيدراتية يكون له تأثير إيجابي في تحسين الأداء حيث يساعد على وفرة الجليكوجين بالعضلة.

كما أننا بحاجة إلى معرفة تأثير نسبة الأحماض الدهنية الحرة بالدم (Free Fatty Acids) والتي تعرف بـ (FFA) على عمليات امتصاص الجلوكوز أثناء التدريب البدني.

ومنذ حوالي ثلاثين عاماً أجرى راندل وآخرون (Randle 1968) دراسة حول الأحماض الدهنية الحرة ودورها مع الجلوكوز، وقد بينت النتائج أن زيادة امتصاص وأكسدة (FFA) يكون ناتجاً عن ارتفاع نسبته في الدم والذي أدى بدوره إلى تثبيط في نشاط (فوسفو فركتو كيناز Phospho Frutokinase) والذي يعرف بـ (PFK) وقد ينتج عن ذلك زيادة في نسبة جلوكوز سكر فوسفات (G6P) أي فسفرة الجلوكوز وامتصاصه.

كما أن هناك دراستين حديثتين بينتا أنه ليس هناك تأثير في زيادة المواد الكيتونية (نواتج احتراق الدهون) على امتصاص العضلة للجلوكوز.

كما أنه من المعتقد أن دورة الجلوكوز والأحماض الدهنية تعمل فقط في العضلات الحمراء أثناء الراحة من التدريب، أما في حالة الجهد البدني فإن زيادة (FFA) يكون مصاحباً بنقص في استهلاك الجلوكوز.

وعند بذل جهد بدني متوسط الشدة ترتفع المواد الدهنية الحرة بالدم (FFA) إلا أنها لا تؤدي إلى زيادة أكسدة الجلوكوز، وأن نسبة التغيرات التي تحدث في نسبة تمثيل الجلوكوز والجليكوجين والأحماض الدهنية الحرة لازالت حتى الآن بحاجة إلى إجراء مزيد من الدراسات من قبل الباحثين والعلماء المهتمين بهذا المجال بحيث تتناول عينات مختلفة العمر وتخضع لبرامج تدريبية وغذائية مختلفة حتى يمكنه متابعة نوع التغيرات المتوقعة حدوثها.



العوامل المؤثرة فى تمثيل كاربوهيدرات العضلات

أثناء التدريب البدنى

سبق أن تناولنا العوامل المحددة فى استهلاك الجلوكوز بالعضلات، ونستعرض هنا أهم العوامل المؤثرة فى تمثيل العضلة للجليكوجين وكذلك امتصاص واستهلاك الجلوكوز أثناء التدريب البدنى.

١- نوعية التمرين: Exercise Mode

من المحتمل أن يكون استهلاك جليكوجين العضلات أثناء الجرى أكثر منه أثناء ركوب الدراجة، ولكن قد يؤثر نوع الجرى أو مدة ركوب الدراجة على نسبة هذا الاستهلاك.

والعامل المهم فى ذلك أو فى نوعية التمرين هو الاختلاف فى شكل وإيقاع حركة الرجلين فى كل من الجرى أو ركوب الدراجة، على الرغم من أن العضلات العاملة قد تكون متشابهة (العضلة الرباعية الأمامية - العضلات الخلفية... إلخ) حيث التبادل فى عمليات الانقباض والارتخاء تكون متشابهة، ولكن قد يختلف إيقاع كل منهما عن الآخر وبالتالي تزداد أو تقل نسبة استهلاك جليكوجين وجلوكوز العضلات.

كما أن تمرين الذراع بواسطة مجهاد الذراعين يؤدي إلى زيادة تحلل الجليكوجين وتكوين اللاكتات بنسبة أكثر من تمرين الرجلين وينفس درجة شدة التمرين - وهذا يسبب تدفق الدم إلى كل منهما وإفراز الهرمونات، وإذا ما تم العمل المضى للرجلين والذراعين فى نفس الوقت يلاحظ أنه قد حدثت زيادة فى نسبة تحلل الجليكوجين وامتصاص الجلوكوز.

٢- طريقة التدريب، Training Methode

تؤثر طريقة التدريب فى نسبة تمثيل الكربوهيدرات فى الجهاز العضلى، وعلى سبيل المثال تعتبر تدريبات التحمل من أحسن طرق التدريب التى تساعد على زيادة تحمل الجليكوجين واستهلاك الجلوكوز وزيادة عمليات الأكسدة، كما أنها تساعد على زيادة تحمل الدهون.

٣- الغذاء، Diet

تناول الفرد الرياضى لكميات كبيرة من المواد الكربوهيدراتية يكون مصحوباً بإكسدة لتلك المواد أثناء التدريب البدنى، وتزداد عمليات أكسدة العضلة للجلوكوز.

أما فى حالة افتقار غذاء الرياضى للمواد الكربوهيدراتية فإن ذلك يؤدى إلى زيادة فى تمثيل المواد الدهنية واستهلاكها، وفى حالة نقص الغذاء يتضح تأثير فعل هورمون الأنسولين (Insulin) والجلوكاجون (Glucagon)، والكاتيكولامين (Catecholamins) وهذا يؤدى إلى تغير فى كل من جليكوجين العضلة (muscle glycogen) وجلوكوز الدم (Blood Glucose)، والدهون الحرة فى بلازما الدم (Plasma FFA).

كما أن جليكوجين العضلات لا يتغير بصورة كبيرة فى حالة الجوع أو افتقار غذاء الرياضى للمواد الكربوهيدراتية.

٤- درجة حرارة البيئة المحيطة، Environment

زيادة درجة حرارة البيئة التى يمارس فيها التدريب تؤثر على تمثيل الكربوهيدرات.

حيث إن زيادة درجة الحرارة تزيد من تكسير وتحلل الجليكوجين بالعضلة، كما تزداد نسبة تركيز اللاكتات فى الدم والعضلات، ويصاحب ارتفاع درجة حرارة الجو أيضاً زيادة فى نسبة جلوكوز الدم.

ويعتقد أن كل ذلك نتيجة ردود أفعال زيادة درجة حرارة الجو على عمليات التمثيل الحسى للطاقة المتمثلة فى الكربوهيدرات، وهى مرتبطة بنقص فى كمية

الأكسجين بالعضلات العاملة تحت ظروف العمل اللاهوائي، ويصاحب هذه الحالة زيادة في إفراز بعض هورمونات الدم مثل الإدرنالين.

وتلعب عمليات التكيف على الجو الحار دورا بارزا في تقليل فعل الحرارة على العمليات السابقة، وكذلك تلعب عمليات التدريب الجيد دورا بارزا على هذه العوامل حيث تقل نسبة التأثير السلبي على الرياضيين المميزين أو العالميين.

ويوضح الجدول التالي استجابة عمليات التمثيل الغذائي أثناء التدريب البدني في الجو الحار على بعض المتغيرات.

جدول (١) تأثير الحرارة على استجابة عمليات التمثيل الغذائي

المتغيرات	درجة حرارة ٢٠°م	درجة حرارة ٤٠°م
جلوكوز الدم (مليمول / لتر)	$4,6 \pm 0,1$	$5,5 \pm 0,2$
لاكتات الدم (مليمول / لتر)	$1,8 \pm 0,3$	$3,7 \pm 0,5$
بلازما إيثنفرين (جرام / ملييلتر)	323 ± 44	489 ± 77
لاكتات العضلات (مليمول / كجم)	$12, - \pm 2,0$	$20,7 \pm 2,2$
الجليكوجين (مليمول / كجم)	166 ± 20	218 ± 18

كما أن انخفاض استهلاك العضلة للجليكوجين لا يصاحبه تغير في تبادل مواد الطاقة الأولية بالدم، كما يلاحظ أن العمل البدني اللاهوائي يساعد على إفراز كمية أكبر من هورمون الإدرنالين مما يعمل على زيادة أكسدة الجلوكوز وتحلل الجليكوجين، وهذا بدوره يعمل على تكوين حامض اللاكتيك بالعضلات ويعددها ينتقل إلى الدم.

٥- الجنس: Gender

تعرضت بعض الدراسات لتوضيح أو عقد بعض المقارنات بين الذكور والإناث في حالة إخضاعهم لبرامج تدريبية واحدة.

وتناولت هذه الدراسات التعرف على متغيرات الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، تركيب الجسم - نسبة الدهون - هورمونات الدم - أحماض الدم - وغيرها من المتغيرات الفسيولوجية.

وقد دلت نتائج هذه الأبحاث أن الإناث أقل من الذكور في تأثير برامج التدريب الواحدة على كل من المتغيرات الفسيولوجية سابقة الذكر، مع ملاحظة أن الإناث تفوقن على الذكور في بعض المتغيرات المرتبطة بهن كإناث مثل دهون الجسم على سبيل المثال.

بينما أظهرت نتائج بعض الدراسات التي أجريت على الذكور والإناث واستخدمت البساط المتحرك في برامج التدريب المستخدمة أظهرت النتائج أنه لا توجد فروق بين الذكور والإناث في درجة تأثير هذه البرامج أو في استجابة بعض المتغيرات التي تم قياسها.



تمثيل الطاقة الكبدية أثناء التدريب البدني،

Hepatic Fuel Metabolism Durin Training:

عند قيام الفرد الرياضي بمجهود بدني تخرج كمية إضافية من الجلوكوز من خلايا الكبد إلى الدورة الدموية للمحافظة على نسبة جلوكوز الدم حتى لا يحدث هبوط في هذه النسبة عن معدلها الطبيعي في الفرد والتي تتراوح من ٨٠-١١٠ مليجرام٪.

وأثبت علماء الطب وفسيولوجيا الجهد البدني أنه من خلال استخدام مواد كيميائية مشعة تلتصق بجزيئات جلوكوز الدم، تبين أن خروج الجلوكوز المخزون بالكبد يكون بنسبة تتراوح من ٣-٦ مرات زيادة عن الحالة الطبيعية (عدم القيام بجهد بدني).

ومؤخرا أثبت التجارب التي تمت عن طريق (ميشيل Michel ١٩٩١) (مارك Mark ١٩٩٥)، (مارليز Marliss ١٩٩١)، بهدف قياس نسبة الجلوكوز في الدورة البابية للجهاز الهضمي، اتضح أن زيادة إنتاج الجلوكوز تعادل ٢٠ ملليمول / لكل كيلو جرام من وزن الجسم في الدقيقة الواحدة، ويقابلها استهلاك كمية من الأكسجين تعادل حوالي ٣,٢-٢,٢ لتر أكسجين في الدقيقة، وذلك يتم باستخدام قسطرة تدخل إلى الشرايين والأوردة إلى الدورة البابية.

ويؤخذ على هذه الطريقة هي أن كمية الجلوكوز التي يتم قياسها ليس بالضرورة أن تكون خارجة من الكبد بالتحديد؛ وذلك لأن بعض الجلوكوز يمتص بكميات متفاوتة من الأمعاء الدقيقة، وذلك تبعا لنوع الكربوهيدرات التي تم تناولها، هل هي أحادية أم ثنائية، وغيرها من العوامل التي تتداخل بحيث تؤثر على ضبط عملية القياس السابق ذكرها.

إلا أن (رويل Rowell ١٩٩٦) أجرى تجربة مهمة على عينة من الرياضيين والأفراد العاديين، وقد أوضحت نتائج دراسته أن كمية الجلوكوز التي يفرزها الكبد إلى الدورة الدموية أثناء التدريبات البدنية تعادل ثلاث مرات كمية الجلوكوز التي تخرج في حالة الراحة.

وتطالعنا آخر التجارب التي أجريت في هذا المضمار بحقيقة أجمع عليها غالبية علماء فسيولوجيا الجهد البدني وهي أن كمية الجلوكوز التي تخرج من الكبد في حالات التدريبات متوسطة الشدة تعادل من ٣-٤ مرات خروجها في الأحوال العادية، أما في حالة التدريبات عالية الشدة فإن كمية الجلوكوز تصل من ٧-١٠ مرات عن الحالة العادية أي حالة الراحة.

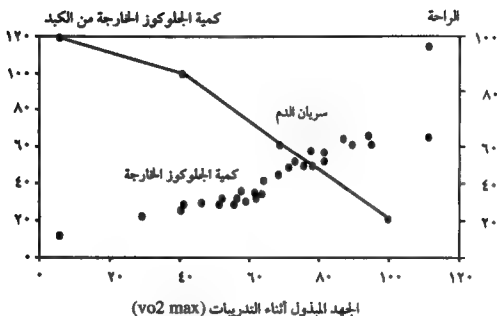
وعلى ذلك يمكن استخلاص أن كمية الجلوكوز التي تخرج من الكبد إلى الدورة الدموية تتناسب تناسباً طردياً مع شدة التدريبات البدنية.

وزيادة في الإيضاح فإن التدريبات متوسطة الشدة أي أقل من (٦٠٪ من Vo_2 max) تظل نسبة الجلوكوز في الدم ثابتة تقريباً على الرغم من الزيادة النسبية لاستهلاك الجلوكوز في العضلات العاملة.

أما في حالة قيام الفرد بمجهود بدني لمدة طويلة وبنفس الشدة السابقة (٦٠٪ من Vo_2 max) ولكن لفترة زمنية طويلة أكثر من ساعتين فإنه يحدث زيادة في خروج الجلوكوز الكبدي إلى الدورة الدموية ثم إلى العضلات العاملة وعندئذ يتحول جليكوجين الكبد إلى جلوكوز يستمر دفعه إلى الدورة الدموية.

بينما في حالة قيام الفرد بمجهود بدني عالي الشدة من (٨٠-٩٠٪ من Vo_2 max) فإن ذلك يعمل على زيادة خروج الجلوكوز من الكبد، بمعنى أن احتياج العضلات العاملة للجلوكوز تحفز الكبد على تحلل الجليكوجين المخزون به ليندفع إلى الدورة الدموية للوفاء بمتطلبات العضلات.

وهذا يعني أن هناك طرقاً بيولوجية يقوم بها الجسم (الكبد - الهرمونات) وهي طرق تعويضية تحافظ على نسبة الجلوكوز في الدم أثناء قيام الفرد بمجهود بدني.



شكل (٣) يوضح تأثير الجهد البدني على جلوكوز الكبد أثناء الراحة، وعند الجهد البدني حيث تكون كمية الجلوكوز التي تخرج من الكبد تتناسب طرديا مع كمية الجهد البدني ($vo_2 \max$) من (مارك هارجريفز ١٩٩٥)

وتوضح التجربة التي أجريت على عينة مكونة من ٨٤ لاعبا لتحديد نسبة خروج الجلوكوز من الكبد أثناء الراحة وعند القيام بجهد بدني حيث تم تحديد الجلوكوز الخارج بطريقتين هما:

الأولى: استخدام نظائر مشعة عن طريق استخدام جلوكوز مندمج مع مادة نشطة مشعة.

الثانية: تحديد كمية الجلوكوز عن طريق استخدام القسطرة التي توضع في الشرايين والأوردة الكبدية.

وبالإضافة إلى الدور الحيوي للكبد الذي يقوم به لإخراج أو إفراز الجلوكوز من خلاياه، فإنه أيضا يقوم بدور حيوي آخر وهو حجز المواد العضوية المستمرة مع النيتروجين والكربون من الدم.

وعلى الرغم من أن بعض هذه المركبات تشارك في تكوين الجلوكوز عن طريق عملية تخليق الجلوكوز إلا أن بعضها الآخر يتحول إلى نشادر أو يتحول إلى بروتينات أو قد يساهم في عملية تخليق المواد الكتيونية، ويزداد خروج هذه المواد العضوية أثناء الجهد البدني.

خروج الجلوكوز من الكبد أثناء التدريب البدني،

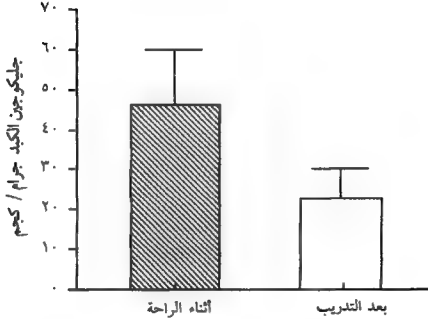
Hepatic Glucose Output During Training:

عند قيام الفرد بجهد بدني يزداد خروج الجلوكوز من الكبد نتيجة هذا الجهد حيث يزداد معدل هدم وبناء الجلوكوز (تمثيل الجلوكوز).

وعند قيام الفرد بجهد بدني ذي شدة متوسطة ٦٠٪ من ($Vo_2 \max$) ولمدة أقل من ٣٠ دقيقة تكون كمية الجلوكوز الخارج من الكبد تفي بمتطلبات عمليات التمثيل الجلوكوزي للعضلات العاملة.

وتتناسب كمية الجلوكوز المستهلكة عن طريق التدريب البدني تناسباً طردياً مع كمية جليكوجين الكبد.

وتكون عملية تحليل الجلوكوز من الكبد أثناء الـ ٦٠ دقيقة الأولى من التدريب متوسط الشدة من ٥-١٥٪ قياساً بحالة الراحة.



شكل رقم (٤) جليكوجين الكبد قبل وبعد التدريب البدني

يوضع الشكل السابق نتيجة التجربة التي أجريت على عينة مكونة من (١٤) لاعبا من لاعبي الدراجات، خضعوا لتدريب لمدة ساعة ثم قيس نسبة جليكوجين الكبد بعد التدريب، واتضح أنه قد حدث انخفاض دال معنويا في نسبة الجليكوجين بعد التدريب مقارنة بنسبته قبل التدريب.

وتبين أن نسبة تحلل الجلوكوز من الكبد تتراوح من ٢٠-٢٥٪ عندما يستمر التدريب لمدة ٦٠ دقيقة، وأن نسبة التحلل تزداد بزيادة فترة التدريب.

وتوضح نتائج التجربة أن زيادة تحلل الجلوكوز من جليكوجين الكبد تتم بمساعدة مجموعة من الأنزيمات التي يزداد نشاطها مع عمليات التدريب التي يخضع لها الفرد الرياضي، وأن هذه العملية تزداد أو تقل تبعا لشدة التدريب.

وتشير نتائج دراسات متعددة أن نسبة استهلاك وتحلل الجلوكوز يرتبط أيضا بعمليات امتصاص الجلوكوز التي تحدث نتيجة تناول مواد سكرية عن طريق الفم قبل التدريب، وتبين أن استهلاك الكبد للمواد المستخدمة في تحلل الجلوكوز تقل مقارنة بالأفراد الذين يؤدون نفس التدرجات وهم صائمون.

وفي بعض الحالات قد تزداد عملية تخليق وتحلل الجلوكوز في الكبد أثناء التدريبات الطويلة؛ وذلك عن طريق تحويل بعض العناصر الأخرى مثل (الجليسرول Glycerol) (والأحماض الأمينية Amino Acid) إلى جلوكوز، وبالتالي فإن الكبد يستطيع أن يقلل نسبة الفاقد من الجلايكوجين المخزون في الكبد والعضلات، وأن عملية تحلل الجلوكوز تزداد بزيادة طردية مع النشاط البدني.

وقد أجريت بعض التجارب الحديثة في هذا المضمار، توضح إحداها أنه تم تحلل الجلوكوز في الكبد بطريقة صناعية عن طريق حقن مادة تسمى (حامض المركابتوفيكوليك Mercaptopicolinic) حيث أدت إلى تقليل فترة النشاط البدني بنسبة ٣٠٪، وأن عملية التقليل هذه أدت إلى خفض كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد بنسبة ٢٠٪.

كما أن عملية حقن مادة تسمى (إيثانول Ethanol) للإنسان تؤدي إلى خفض تحليل الجلوكوز من الكبد بعد حوالي ١٨٠ دقيقة.

وتعكس كمية الجليكوجين المخزونة بالكبد ضخامة كمية الجلوكوز التي يمكن إخراجها أثناء التدريب البدني الشاق.

كما وجد أن زيادة خروج الجلوكوز من الكبد تتناسب طردياً مع كمية الجليكوجين المخزونة بالكبد أثناء التدريب البدني.

ولدى الرياضيين المدربين جيداً قدرة أكبر على تحليل جليكوجين الكبد لدفع أكبر كمية من الجلوكوز في الدورة الدموية لإتمام عمليات التدريب الرياضي.



تنظيم خروج جلوكوز الكبد بطريقة التعويض أثناء التدريب:

Feedback Regulation of Hepatic Glucose Output During Training:

عملية تعويض الجلوكوز الخارج من الكبد مهمة جدا حتى تغطي أو تقابل احتياجات العضلات العاملة أثناء التدريب البدني، وتم التأكد من أن عملية تعويض الجلوكوز تعتمد على نسبة الجلوكوز في الدم وبالتالي تعتمد على نسبة الجلوكوز المطلوب تصنيعه من الكبد.

وللدلالة على ذلك، فإن إعطاء الجلوكوز عن طريق الحقن في الوريد بطريقة (التنقيط) أثناء الجهد البدني تؤدي إلى تقليل نسبة الجلوكوز الداخلى والمطلوب خروجه من الكبد أثناء تلك التدريبات.

والحقيقة أن إعطاء الجلوكوز بالوريد بطريقة التنقيط في هذه التجارب أدى إلى تغير طفيف في نسبة الجلوكوز الموجود في بلازما الدم بنسبة تتراوح من ٤-٥ ملليجرام/.

ويعنى هذا أن عملية خروج الجلوكوز من الكبد وتحلل الجليكوجين لإعطاء الجلوكوز عملية معقدة وحساسة جدا بالنسبة للمحافظة على جلوكوز الدم في حالته الطبيعية، والتي تم التدخل فيها عن طريق حقن الوريد بالجلوكوز.

واستخدمت تجربة مهمة جدا هورمون الجلوكاجون (Glucago) الذى يفرزه البنكرياس وكذلك الأنسولين (Insulin)، حيث إن الأول يساعد على زيادة إفراز الجلوكوز، والثانى يعمل على المحافظة على نسبته في الدم، وقد أعطى الهرمونين معا، وأثبت التجربة أن خروج الجلوكوز من الكبد قد قل ووصل بعد عشر دقائق من التدريب متوسط الشدة إلى نسبة انخفاض من ٤-٥ مليمول / لتر ولمدة عشرين دقيقة.

وأجريت تجربة على الفئران بحيث تم حقن هذه الفئران بمادة تسمى (فلوروزين Phlorizin) أثناء التدريب، وقد أدى ذلك إلى زيادة الجلوكوز الخارج من الكليتين، وفسرت هذه النتيجة على أساس أن مادة الفلوروزين تزيد من كمية الجلوكوز الفاقد من

الدورة الدموية أثناء التدريب، كما صاحب ذلك زيادة مقابلة في إخراج الجلوكوز من الكبد أثناء التدريب مقارنة ببعض الفئران الأخرى التي تم حقنها بمحلول ملح.

وتشير نتائج دراسات متعددة إلى أن الطريقة التعويضية لا تعتمد فقط على نسبة الجلوكوز في الدم، ولكنها مرتبطة بحالة الكبد نفسه أثناء التدريبات الخفيفة.

وتشير دراسة أخرى أجريت على القطط إلى أن الأعصاب المتصلة بالعضلات المنقبضة لها أهمية في تحديد كمية الجلوكوز الخارج من الكبد، والدليل على ذلك أن طريقة توصيل تيار كهربائي إلى عصب العضلة أدى إلى زيادة نسبة جلوكوز بلازما الدم وزيادة خروجه من الكبد.

إلا أن هذه الطريقة لم تستخدم كثيرا على الرياضيين، وتعتبر طريقة ثانوية ولا يمكن الاعتماد عليها إلا إذا كانت الطرق التعويضية الطبيعية ضعيفة.



علاقة التغذية المستمرة بتدفق جلوكوز الكبد أثناء التدريب،

Feed - Forward Regulation of Hepatic Glucose Output During Training:

كما تقدم يتضح أن نسبة جلوكوز الدم تزداد أثناء التدريبات البدنية مرتفعة الشدة، وهذا يعنى زيادة فى تحلل جليكوجين الكبد وتحوله إلى جلوكوز، بنسبة تعادل كمية الجلوكوز المطلوبة للعضلات العاملة فى التدريب البدنى.

وتفيد نتائج دراسات حديثة أجريت على الرياضيين أن تثبيط نشاط العصب الواصل لمجموعة عضلية وذلك عن طريق الحقن بمادة تسمى (توبوكورارين - Tubocurarine) ساعدت على خفض الجلوكوز الخارج من الكبد مقارنة ببعض الرياضيين الذين لم يتم حقنهم بهذه المادة.

وأفادت دراسة أخرى أن خروج الجلوكوز من الكبد يزداد من خلال الطريقة التعويضية، وذلك عن طريق حقن جلوكوز بطريقة التنقيط فى الوريد بسرعة مضاعفة بحيث تكون هذه الكمية ضعف سرعة الجلوكوز الخارج من الكبد.

ونتيجة عن ذلك زيادة فى نسبة جلوكوز الدم ونقص فى كمية الجلوكوز الخارج من الكبد بنسبة من ٣٠ - ٤٠ %.

كما أفادت بعض الدراسات بأن طريقة التغذية المستمرة بالكربوهيدرات ليست وحدها المسئولة عن زيادة نسبة الجلوكوز ولكنها مرتبطة بالتأثير على أجزاء من المخ وهى تساعد الجهاز العصبى المركزى على إصدار أوامره لمراكز عصبية بالمخ تعمل على تحفيز أو تثبيط نشاط إفراز الجلوكوز.

أجريت تجربة على الفئران أثناء قيامها بالسباحة حيث تم حقن هذه الفئران بمادة تسمى (ألفا أدنرجك - α -adrenergic) وقد نتج عن ذلك زيادة شديدة فى خروج الجلوكوز من الكبد وكذلك زيادة فى نسبة جلوكوز الدم، ويرجع ذلك إلى تأثير هذه المادة على المركز العصبى بالجهاز العصبى المركزى ويعرف باسم (VMH) حيث يوجد فى النصفين الكرويين بالمخ الأيمن والأيسر.

وامتدادا لهذه التجربة أجريت تجربة أخرى، بحيث تم تخدير الجزئين معاً الأيمن والأيسر من (VMH) ولوحظ زيادة كبيرة فى كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد مقارنة بالفئران الأخرى.

بالإضافة إلى ذلك وجد أن تحفيز الجزء الخلفى من هذا المركز بالمخ بواسطة تيار كهربائى فى بعض القطع التى تم تخديرها وفى نفس الوقت تم تخدير الأعصاب المتصلة بعضلاتها المنقبضة، وجدت زيادة فى كمية الجلوكوز الخارج من الكبد مشابهة للزيادة التى حدثت فى حالة وجود نشاط بدنى.

وهذه النتائج تؤكد على أن تحفيز وتنشيط هذه المراكز بالمخ يؤدي إلى زيادة خروج الجلوكوز من الكبد، إما بشكل مباشر عن طريق التنشيط العصبى أو غير مباشر عن طريق النشاط الهورمونى.

وفى بعض الأفراد الذين يعانون من شلل رباعى، تم تحفيز أرجلهم وتنشيطها عن طريق تيار كهربائى باستخدام جهاز كمبيوتر أثناء تدريبهم على ركوب الدراجة، واتضح أن استهلاك الجلوكوز فى الأطراف زاد بنسبة قدرها ٥٠٪، كما أن جلوكوز الدم انخفض بنسبة ٧٠٪، مليمول، وفى غضون التلريبات تبين أن هؤلاء الأشخاص ليس لديهم أى زيادة فى كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد مقارنة بالحالة الطبيعية.

وهذا يدل على أنه عندما يكون هناك قصور أو عجز فى الجهاز العصبى المركزى وكذلك عجز فى العضلات فهذا يعنى أنه ليست هناك تغيرات فى نسبة جلوكوز الدم. وليس هناك استهلاك للجلوكوز من قبل العضلات الطرفية مما يعنى عدم زيادة تحليل جليكوجين الكبد إلى جلوكوز.

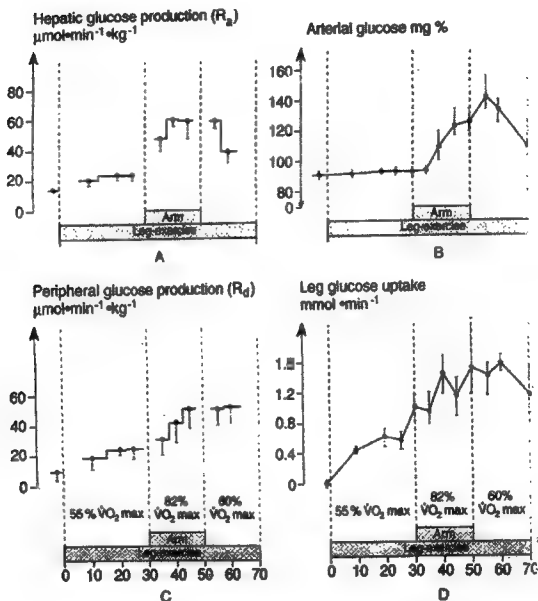
من التجارب السابقة يتضح لنا أن كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد لا تعتمد فقط على الطريقة الكيميائية التعويضية وإنما تعتمد أيضا على مراكز عصبية فى المخ وعلى الطريقة التعويضية الهورمونية.

كما يتبين أن كمية الجلوكوز الخارجة من الكبد تبدو معقدة وتتم فى ظروف بالغة الدقة والحساسية والغموض، وهى أولا وأخيرا تتم بطرق لم يتم كشف كل أسرارها حتى الآن، ولكننا نلاحظ ونقيس نسبة الزيادة أو النقص، وندرس التحفيز أو التنشيط ولكن أسلوب وطريقة تحولاتها الدقيقة مازالت قيد البحث والدراسة وهى محل اهتمام العلماء والباحثين.

وعلى ذلك يمكن القول بأن كمية الجلوكوز التى تخرج من الكبد تعتمد على شدة ومدة التدرينات البدنية وعلى عدد العضلات العاملة بأجزاء الجسم المختلفة.

بالإضافة إلى أنه من الممكن أن تكون هناك بعض المواد الأخرى غير المعروفة للعلماء حتى الآن والكامنة فى أعضاء جسم الإنسان، وخاصة من أنسجة العضلات

العامة وتحرك في الدورة الدموية، وقد تكون سببا (ويعلم الله) في زيادة الجلوكوز الخارج من الكبد أثناء التدريبات البننية.



شكل رقم (٥) الجلوكوز الخارج من الكبد والجلوكوز المستهلك أثناء تدريبات الرجلين والذراعين منفردة ومجمعة (عن كاجار وآخرين 1991 Kajar, et al)

توضح الدراسة التى أجراها (كاجار وآخرون Dajar, etal ١٩٩١) على سبعة أفراد أصحاء، حيث تم قياس نسبة الجلوكوز بالدم عن طريق أخذ عينة من الشريان، وتم تحديد كمية سريان الدم فى منطقة العضلات الطرفية بطريقة معينة فى حالتى الراحة وبعد الجهد البدنى.

واستعملت الدراجة الأرجومترية لمدة ٧٠ دقيقة وذلك باستخدام الرجلين مرة، ثم باستخدام الذراعين مرة أخرى، ثم باستخدام الرجلين والذراعين معا مرة ثالثة، وتم تحديد شدة الحمل البدنى لكل من الذراعين والرجلين.

حيث بدأ العمل على الدراجة الأرجومترية بالرجلين وبشدة ٥٥٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، وبعد مرور ٣٠ دقيقة اشتركت الذراعين فى العمل العضلى وزادت الشدة إلى أن أصبحت ٨٢٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين ولمدة ٢٠ دقيقة أخرى، ثم توقف العمل بالذراعين واستمرت الرجلان فى العمل لمدة ٢٠ دقيقة أخرى وبشدة ٦٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، وهذا كما يوضحه الشكل (A, B, C, D).

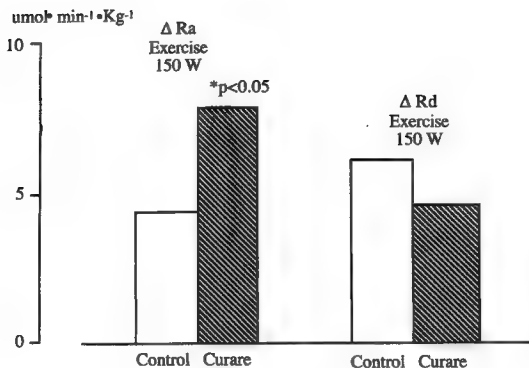
يتضح من نتائج هذه الدراسة أن استهلاك الجلوكوز وسرعة خروجه من الكبد (تخلله) إرتبطت بحجم العضلات العاملة (الرجلان فقط، أم الذراعان فقط، أم الاثنان معا).

فعندما عملت الرجلان فقط لمدة ٣٠ دقيقة بلغ حجم استهلاك الجلوكوز حوالى ٢٠ مليمول كل دقيقة لكل كيلوجرام من وزن الجسم، وبما يعادل ٩٠ ملليجرام٪.

وعندما اشتركت الذراعان مع الرجلين فى العمل البدنى من الدقيقة ٣٠ حتى الدقيقة ٥٠ ارتفعت نسبة الاستهلاك وأصبحت حوالى ٤٠ مليمول كل دقيقة، وبما يعادل ١٢٠ ملليجرام٪.

ومن الدقيقة ٥٠ حتى ٧٠ توقفت الذراعان عن العمل واستمرت الرجلان فى تأدية العمل، وهذا أدى إلى انخفاض فى نسبة الجلوكوز المستهلك وأصبح حوالى ٣٠ مليمول كل دقيقة وبما يعادل حوالى ١٠٠ ملليجرام٪.

٣٨ التمثيل الحيوى للطاقة فى المجال الرياضى



شكل رقم (٦) تأثير إعطاء مادة (كيورار Curare) على نسبة استهلاك الجلوكوز في العضلات ونسبة خروجه من الكبد عند القيام بحمل بدني ١٥٠ وات.
(عن كاجار وآخرين Kajar,etal ١٩٩١)

أجريت هذه التجربة على ثمانية أفراد، وأعطيت مادة كيورار Curare عن طريق الحقن حيث تؤثر على الأعصاب الحركية المضطربة من خلال التأثير على الجهاز العصبي، وذلك للتعرف على تأثيرها في عملية تحلل جلوكوز الكبد واستهلاكه من قبل العضلات العاملة، وتم تنفيذ هذه التجربة من خلال مجموعة تجريبية تم حقنها بمادة كيورار Curare ومجموعة أخرى ضابطة لم يتم حقنها بهذه المادة.

وخضعت مجموعتي البحث لحمل بدني على الدراجة الأرجومترية بحمل بدني ١٥٠ وات ولمدة خمس دقائق.

أوضحت نتائج التجربة أن المجموعة التجريبية التي تم حقنها بهذه المادة أدت إلى زيادة استهلاك الجلوكوز من قبل العضلات العاملة مقارنة بالمجموعة الضابطة التي لم تحقن بهذه المادة، وقد جاءت الفروق دالة عند مستوى معنوية ٠,٠٥.

الفصل الثاني

التمثيل الغذائي للدهون أثناء التدريب البدني



- ١- مقدمة
- ٢- الدهون
- ٣- تمثيل الأحماض الدهنية بيلازما الدم
- ٤- تحليل النسيج الدهني
- ٥- تأثير التدريب عالي الشدة على تحليل الدهون
- ٦- التنظيم الهرموني للتحلل الدهني
- ٧- النظام الهرموني لليبارز
- ٨- تأثير تركيز الجلوكوز
- ٩- كفاءة نقل الأحماض الدهنية الحرة
- ١٠- نقل الأحماض الدهنية الحرة في بلازما الدم
- ١١- نفاذ الأحماض الدهنية الحرة خلال الأغشية البلازمية
- ١٢- نقل الأحماض الدهنية الحرة عبر السيتوبلازم
- ١٣- البناء والهدم داخل الخلية
- ١٤- الكولسترول
- ١٥- تأثير التدريب البدني على الكولسترول





التمثيل الغذائي للدهون أثناء التدريب البدني؛

Lipid Metabolism During Training:

المقدمة:

يتم داخل كل خلية من خلايا الجسم العمليات الكيميائية الحيوية اللازمة لحياتها، ولذلك لا بد أن تنتقل إليها كل احتياجاتها لتغذيتها، وفي نفس الوقت يتم نقل نواتج عمليات الأكسدة بعيدا عنها.

وتحتوي بلازما الدم على المواد الدهنية Fats، والأحماض الأمينية Amino acid، والهورمونات Hormones، وغيرها من المواد الأساسية لحياة الخلية، وتنتقل هذه المواد إلى الخلايا عن طريق الدم لتغذيتها، وتنتقل نواتج الأكسدة من الخلايا عن طريق الدم أيضا إلى الرئة والكلى حيث يتم التخلص منها وهي ثاني أكسيد الكربون ومركبات نيتروجينية ذائبة مثل اليوريا.

وترتبط لزوجة الدم بقدرة ما يحتوي من خلايا الدم ومكونات البلازما وخاصة الليبيدات Plasma Lipids، وبمقارنة الدم بالماء يلاحظ أن الدم أكثر كثافة من الماء بحوالي 3-4 مرات بسبب ما يحتوي عليه من خلايا وبلازما.

وعند ممارسة التدريب الرياضي تقل لزوجة الدم مما يساعد على سهولة سريانه في الأوعية الدموية، بينما في حالة عدم الحركة تزداد لزوجة الدم مما يعيق سهولة سريانه في الأوعية الدموية، وقد ركزت معظم الدراسات التي أجريت في هذا المجال على تأثير التدريب البدني على خلايا الدم.

وتشير نتائج دراسات متعددة إلى أن خلايا الدم الحمراء تزداد لدى الأفراد المدربين مقارنة بغير المدربين، وهذه الزيادة لها تأثيرها على مستوى الأداء البدني لارتباط الخلايا الحمراء والهيموجلوبين بعنصر التحمل لدورهما في نقل الأكسجين إلى العضلات العاملة.

ويعتبر ارتفاع مستوى دهون الدم وخاصة الكوليسترول Cholesterol أحد العوامل الهامة في حدوث مرض تصلب الشرايين ومرض الشريان التاجي حيث ينتج الكوليسترول داخلها بواسطة معظم الخلايا بالجسم (Indogenous Production) وبخاصة في الكبد.

أما المصادر الخارجية لإنتاجه فتتمثل فيما يؤكل من الغذاء واختلاف الأفراد في قدرتهم على نقل وتمثيل الكوليسترول يؤدي إلى ارتفاع مستواه في بلازما الدم، والذي يؤدي بدوره إلى ترسيب الدهون في الغشاء المبطن للشرايين.

التمثيل الحيوي للطاقة في المجال الرياضي

ويشير (دافيد David ١٩٧٩) وغيره إلى أنه توجد أدلة تؤيد أن التدريب البدني المنتظم يساعد على خفض نسبة الكوليسترول، وأن كثيرا من الأبحاث التجريبية أوضحت أن التدريب البدني يقلل من الجلسريدات الثلاثية في الدم، وأشارت نتائج كثير من الدراسات إلى انخفاض كوليسترول الدم، وعلى الفرد أن يحافظ على مستوى الكوليسترول حتى ١٦٥ ملليجرام/ بالنسبة للبالغين.

الدهون، Fats

تستخدم مصادر الطاقة الحيوية لجسم الإنسان من المواد الدهنية؛ وذلك لإمداد العضلات الإرادية باحتياجاتها من الطاقة خلال التدريبات البدنية التي تستمر لفترة طويلة.

وتعتمد العلاقة بين عمليات التمثيل الحيوي للطاقة وعمليات أكسدة مواد هذه الطاقة على العديد من العناصر أو العوامل التي من بينها شدة التدريب البدني، واستمراريته، والمرحلة السنية، ودرجة حرارة الطقس، والجنس، والحالة التدريبية وغيرها من العوامل التي تؤثر بشكل أو بآخر على عمليات تمثيل المواد الدهنية بجسم الإنسان.

وتشتمل عمليات أكسدة المسود الدهنية على دورة التراي جلسريد (T G (Triglycerols، وكذلك دورة الأحماض الدهنية الحرة (FFA Free Fatty Acid)، والتي يعتمد عليها الجهاز الحركي (العضلات، العظام، المفاصل) في القيام بمختلف التطلبات الحركية أثناء التدريب البدني أو المنافسات الرياضية.

وسوف نستعرض في هذا الجزء الدور الحيوي الذي تقوم به المواد الدهنية في إمداد جسم الإنسان باحتياجاته من الطاقة أثناء الراحة وعند القيام بجهد بدني.

تمثيل الأحماض الدهنية بيلازما الدم:

Plasma Free Fatty Acid Metabolism:

تتكون الأحماض الدهنية الحرة (FFA) من تحلل الدهون نتيجة عمليات الهضم التي تتم في القناة الهضمية، وذلك بغرض إنتاج طاقة كبيرة تتأكد أثناء التمرينات البدنية التي تتميز بالشدة المتوسطة لفترة زمنية طويلة، وتستلزم عملية التمثيل الحيوي الخاص بالأحماض الدهنية الحرة (FFA) خطوات متعددة؛ نظرا لأنها عملية معقدة ومركبة بدءا من انتقالها عبر السيتوبلازم حتى الأيض داخل الخلية.

ويعتبر النسيج الدهني أكبر مخزون كمي للدهون في الثدييات، وفي الإنسان

== ٤٤ == التمثيل الحيوي للطاقة في الهزال الرياضي

يشكل هذا النسيج حوالى من ١٠-٢٥٪ من وزن الجسم، ويوجد بشكل شبه كامل تحت الجلد وحول الجذع والبطن والأرداف وأجزاء صغيرة منه توجد حول العضلات الإرادية.

ونسبة تجمع الأحماض الدهنية فى النسيج الدهنى لا تعتمد فقط على معدل تحلل الدهون ولكن على نشاط الأحماض الدهنية الحرة FFA فى البلازما، وعلى معدل إعادة الاسترة لهذه الأحماض بواسطة الخلية الدهنية.

تحلل النسيج الدهنى ، Adipose Tissue Lipolysis

للتعرف على معدل أكسدة الأحماض الدهنية يمكن قياس انتشار الجليسرول (Glycerol) فى الدم، حيث يظهر الجليسرول كنتائج لعملية احتراق الدهون، وفور عملية انتشاره فى الدم لا يمكن إعادة تركيبه مرة ثانية.

ذلك لأن النسيج العضلى لا يحتوى على الكثير منه ولكن يمكن قياسه بواسطة بعض الاختبارات العملية الخاصة التى تقيس نسبته خارج حدود الخلايا والتى من خلالها يمكن التعرف على معدل تركيزه.

تأثير التدريب على الشدة على تحلل الدهون،

Effects of Acute Training on Adipose Lipid:

أثبتت نتائج عديد من الأبحاث (شاو Shaw ١٩٧٥)، (وارنبرج Wahrenberg ١٩٩١)، (وولف Wolf ١٩٨٧)، أن معدل تحلل الدهون أو احتراقها فى النسيج العضلى يتحسن مع استمرار التدريب البدنى، وعلى سبيل المثال فإن خلايا دهن الأرداف يتأثر بعد حوالى ٣٠ دقيقة من تدريبات العجلة الأرومترية.

كما أن معدل تركيز الحمض الدهنى جليسرول (Glycerol) بالدم يزداد بنسبة من ٣٥-٥٠٪ بعد التدريب المستمر لمدة من ٣-٤ ساعات، كما أن التدريب الشاق يزيد من الأحماض الدهنية الحرة FFA ثلاثة أضعاف بعد التدريب لمدة ٤٠ دقيقة على العجلة الأرومترية بشدة قدرها ٦٥٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين (Vo2 max).

وتشير نتائج هذه الدراسات أيضا إلى أن معدل زيادة الأحماض الدهنية الحرة FFA، الجليسرول Glycerol تبلغ ستة أضعاف، وذلك بعد تدريب على البساط المتحرك (Treadmill) بشدة من ٧٥ - ٨٠٪ من الـ Vo2 max.

التنظيم الهرموني للتحلل الدهنى،

Hormonal Regulation of Lipolysis:

تؤثر الإفرازات الهرمونية فى جسم الإنسان مثل هورمون (كاتيكولامين -Catecholamine)، هورمون (جلوكاجون -Glucagon)، (هورمون النمو -Growth hormone)، (ادرينو كورتيكوتروبك -Adrenocorticotrophic hormone)، (هورمونات الغدة الكظرية -Various Pituitary hormones)، (هورمونات الغدة النخامية -Intestinal hormones) على زيادة معدل تحلل الدهون فى خلايا جسم الإنسان، إلا أن هورمون كاتيكولامين، هورمون الغدة الدرقية يحتل الصدارة من بين الغدد الأخرى فى زيادة عملية التحلل الدهنى.

وتظهر أهمية كاتيكولامين على أنه أنشط هذه الهرمونات لتأثيره على مستقبلات ألفا وبيتا (α' B₁) الأدرينالية (adrenergic) من خلال التغيرات المتتالية التى تعمل على أدينوزين مونوفوسفات (Adenosin 5 Monophosphat) والتى تعرف بـ (AMP) حيث يتم إنتاجها داخل الخلايا والفعل المصاحب لذلك مع هورمون الأنسولين الذى يعتبر مثبط للتحلل الدهنى.

وتتلخص التغيرات الهرمونية الأساسية والتى تزيد من التحلل الدهنى خلال النشاط البدنى فى أنها عبارة عن زيادة فى نشاط مستقبلات بيتا الأدرينالية وهبوط فى معدل إفراز الأنسولين.

والهورمونات المثبطة لمستقبلات ألفا الأدرينالية تغير من التحلل الدهنى أثناء الراحة، وعلى الجانب الآخر فإن العمليات المنشطة لمستقبلات بيتا B₁ الأدرينالية تكون هى الظاهرة خلال النشاط التدرىي.

وعلى ذلك فإن إضافة مثبطات ألفا الأدرينالية إلى النسيج الدهنى تحت الجلد يضاعف من زيادة الجليسرول.

وعلى جانب آخر فإن إضافة (بروبراتولول -Propranolol) إلى النسيج الدهنى يساعد على زيادة إفراز الجليسرول بنسبة ٦٥٪.

النظام الهرموني للليپاز:

The Hormone Lipase System:

يقوم الهرمون المعروف علميا باسم (سنتف ترى سيلجلسرول - Sensitive Triacylglycerol) بالتحكم في معدل التحلل الدهني حيث يقوم بعملية هدرجة للروابط الدهنية المعروفة علميا باسم (Ester bonds).

والخاصة بهورمون سنتف ترى سيلجلسرول حيث يتم تحويلها إلى أحماض دهنية حرة (FFA)

ويعد إنزيم الليپاز (Lipase) المسئول الفعلي عن كل عمليات الهدرجة الخاصة بالمواد الدهنية بالتعاون مع الهرمون، وتتم هذه العمليات المعقدة بواسطة (HSL).

واتفق على تقسيم الروابط الدهنية لخلايا النسيج الدهني إلى قسمين رئيسيين: روابط منتظمة وأخرى غير منتظمة، وقد كشفت الدراسات على أن الزيادة في عمليات الفسفرة (Phosphorylation Stat) لمركبات HSL تتم بواسطة (AMP) وذلك من خلال السيتوسول (Sytosol).

تأثير تركيز الجلوكوز: Effects of Glucose Concentration

على الرغم من أن العوامل المؤثرة في تحلل النسيج الدهني هي الهرمونات، إلا أن تركيز الجلوكوز في الدم من العوامل المؤثرة في تحلل الدهون وفي نشاط الهرمونات في بلازما الدم.

ويعد الأنسولين أحد الهرمونات الهامة التي تعمل على المحافظة على أن تكون نسبة الجلوكوز في الدم ثابتة حيث يزداد نشاطه أو يقل تبعاً لدرجة تركيز الجلوكوز في الدم.

كفاءة نقل الأحماض الدهنية الحرة: Plasma FFA Transport Capacity

من بين العوامل المنظمة والمتحكم في عمليات التحلل الدهني، تلك العوامل العصبية الهرمونية حيث تساعد على نقل الأحماض الدهنية الحرة FFA إلى الخلايا استعداداً لإتمام عمليات الأكسدة.

ويمكن زيادة معدل نشاط الأحماض الدهنية الحرة FFA في بلازما الدم إلى عشرين ضعف أثناء التدريب البدني متوسط الشدة ولفترة زمنية طويلة، حيث يرتبط نشاط الدهون الحرة ببروتين الألبومين (Albumin) كما أن زيادة نشاط الألبومين يتبعه زيادة تركيز الدهون الحرة، وهذا يؤدي إلى زيادة أكسدة الدهون حيث يزداد تدفقها في العضلات من خلال الدم.

نقل الأحماض الدهنية الحرة في بلازما الدم:

FFA Transport in Blood Plasma:

بلازما الدم تشتمل على الألبومين (Albumin) وهو عبارة عن بروتين - ويتصل الألبومين بالأحماض الدهنية الحرة FFA من خلال مجموعة روابط كيميائية يصل عددها إلى عشرة روابط تختص الأحماض الدهنية الحرة بثلاث روابط منها.

وعندما تتركز الأحماض الدهنية الحرة ببلازما الدم فإن جزءا من هذه البلازما يحتوى على الألبومين، ولا يرتبط تركيز كل منهما بالآخر لأن العامل المهم في ذلك هو الروابط التي تجمع بينهما.

نفاذ الأحماض الدهنية الحرة خلال الأغشية البلازمية:

FFA Permeation Accross Plasma Membranes:

بعد أن تنفصل الأحماض الدهنية الحرة FFA عن بروتين الألبومين Albumin، تعبر الأحماض الدهنية الحرة الأغشية البلازمية لخلايا العضلات لكي تختزن أيضا على صورة ٣ جزيئات جليسرول (glycerols)، استعدادا للأكسدة مع ثلاثي أدنوزين الفوسفات ATP، وذلك طبقا للنظرية التقليدية «نظرية التحول» لنفاذ إلى الخلايا البروتينية.

ويعتبر بروتين الألبومين هو الوحيد الذي يشارك في خاصية عبور الأحماض الدهنية الحرة خلال الأغشية البلازمية حيث يعتبر اختراقا إيجابيا وهو يوضح نسبة العلاقة بين مجموع الأحماض الدهنية في مجموعة البلازما المستخدمة أثناء الراحة أو عند التدريب البدني.

كما أنه للنظرية البسيطة لعبور الأحماض الدهنية خلال أغشية الخلايا اعتبارات هيكلية ووظائفية، وقد تبين أن الخلاف الوحيد هو أن نسبة الأحماض الدهنية الحرة غير المرتبطة بالغشاء الثنائي «فوسفودهنى Phospholipid» للأغشية البلازمية، وتلك المجموعات القطبية التى تواجه الفراغ الخارجى والداخلى للخلية التى ربما تخفى اختراق الأحماض الدهنية وعلى الأكثر عند الرقم الهيدروجينى الوظيفى للخلية (PH, FFA)، تبقى الأحماض الدهنية فى البلازما فى صورة إنونات (Anios)، وهى تحمل شحنة سالبة.

تلك الاعتبارات النظرية تزيد احتمالية أن الفعل الميكانيكى أكثر فاعلية من الانتشار البسيط للأحماض الدهنية.

وخلال القرن الماضى دخلت الحقائق الاختبارية لكى نتوقع أن اختراق الأحماض الدهنية الحرة خلال الأغشية البلازمية تكون فى حاجة لحامل لها، معتمدة على نسبة تركيز الأحماض الدهنية الحرة غير المتحدة، كما وضحت بالنظرية التقليدية «نظرية التحول» التبادل الخلوى فى خلايا الكبد وخلايا النسيج الدهنى وخلايا القلب لتؤكد على التالى:

* إن أخذ الخلايا للشريط الطويل للأحماض الدهنية الحرة ليس محمداً بانفصال الأحماض الدهنية من الألبومين، وتحدد التشبع الفعلى عندما تتحد ضد تركيز الأحماض الدهنية الحرة.

* الشرائط الطويلة للأحماض الدهنية الحرة ترتبط بتشبع الأغشية البلازمية.

* ذلك الارتباط ينسب إلى أغشية بلازمية خاصة ترتبط بالأحماض الدهنية والبروتين.

* الأحماض الدهنية المرتبطة ببروتين الأغشية البلازمية لها وزن جزيئى بين ٤٠-٤٣ ك.د.أ، وهى تملك ارتباطاً عالياً للشرائط الطويلة للأحماض الدهنية الحرة، وهى هيكلية ومناعياً تتراوح من ١٢ - ١٤ ك.د.أ.

الأحماض الدهنية المرتبطة ببروتين الأغشية البلازمية تمنع الأحماض الدهنية الحرة أن ترتبط بالخللايا البلازمية، وتستمر الأحماض الدهنية مرتبطة بالبروتين، وقد تعمل

تناقل للأحماض الدهنية، وتأكيدا لذلك يتضح أن اختراق الأحماض الدهنية الحرة داخل العضلات تقوم على الناقل الإلكتروني.

فى الإنسان غير المدرب، عندما يقوم بشئ وفرد الركبة لمدة ساعتين، تدخل الأحماض الدهنية الحرة إلى داخل العضلات العاملة وتزداد بها عن طريق النقل الإلكتروني.

هورموني الإدرينالين والأنسولين ينظمان استخدام الأحماض الدهنية الحرة فى النسيج الدهنى عن طريق نظام نقل الخلايا للأحماض الدهنية، بالإضافة إلى نشاط (HCL)، ويقوم هورمون الإدرينالين بزيادة نشاط عمليات النقل لتضاعف من ٥-١٠ مرات، والإثارة تتم عن طريق تفاعل المستقبل B وتراكم أحادى أدنيزين الفوسفات (AM.P).

وزيادة على ذلك فإن النسبة الفسيولوجية للأنسولين تظهر لكى تقلل الإدرينالين المنبه للغشاء الذى ينقل الشرائط الطويلة من الأحماض الدهنية الحرة المرتبطة بالبروتين البلازمى فى الخلايا الدهنية عن طريق تقليل مؤشر أحادى أدنيزين الفوسفات AMP وعن طريق تنشيط إنزيم (الفوسفودستراز Phosphodiesteras).

نقل الأحماض الدهنية الحرة عبر السيتوبلازم:

Cytoplasmic Transport of FFA:

نقل المواد الدهنية الموجودة فى سيتوسول الخلية (Cytosol Cells) الخلولى خلال بيئة مائية يتم عن طريق وجود مجموعة كبيرة من البروتينات الناقلة، ويوجد على الأقل نوعين من البروتينات المختلفة مسئولة عن نقل الأحماض الدهنية الحرة داخل الخلية.

تلك البروتينات الناقلة للأحماض الدهنية لها تراكيب مميزة يتراوح الوزن الجزيئى لها ما بين ١٢-١٤ ك.د.أ، وتوجد تلك البروتينات الناقلة فى خلايا الكبد والأنسجة الدهنية والقلب والأمعاء، كما أن البروتينات الناقلة لها قدرة على الارتباط بالأحماض والإنزيمات (Fatty acyl - COA)، وكذلك بمادة تسمى (كارنتين L- Carnitine) بنفس القدرة والكفاءة التى ترتبط بها الأحماض الدهنية الحرة فى العضلات المخططة.

وتتضح أن مستويات البروتينات الناقلة يختلف تبعاً لنوع الألياف العضلية، ووجود نوعيات مختلفة ومميزة من البروتينات الناقلة، ووجود نوعين مختلفين داخل كل خلية مضافاً إليها مجموعات الفوسفات يساعد الأليومين الموجود بالدم.

ورغم ذلك فإن الوظائف الفسيولوجية للبروتينات الناقلة مازالت غير محددة بالدقة المطلوبة، إلا أنها مسئولة عن نقل الأحماض الدهنية عبر السيتوبلازم وحماية الإنزيمات والتراكيب الخلوية من التأثيرات الضارة للأحماض الدهنية.

البناء والهدم داخل الخلية،

Intracellular Metabolism:

داخل الخلية العضلية تتجه الأحماض الدهنية الحرة إلى الميتوكوندريا (Mitochondria) حيث تتم عمليات الأكسدة، وحتى في الحالات التي تزداد فيها معدلات الهدم تكون نسبة الأحماض في البلازما محدودة والتي تتجه للخلايا لإتمام عمليات الأكسدة.

وأكسدة الأحماض الدهنية في الخلايا العضلية لا تصل مطلقاً لنسبة ١٠٠٪ وهذا يوضح أن هناك نسبة من الأحماض الدهنية في البلازما لها عمليات أيضاً أخرى غير تلك التي تحدث داخل الخلايا العضلية.

وتعتمد أكسدة الأحماض الدهنية في الخلايا العضلية على شدة التدريبات البدنية والمدة الزمنية لتلك التدريبات.

وعندما يتجمع حامض اللاكتيك أسد (Lactic Acid) يتبعه نقص في استخدام الأحماض الدهنية في عمليات الأكسدة مقرونة بنقص الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين مما يؤدي إلى زيادة استخدام الدهون حتى تبلغ شدة التدريبات الرياضية قيمة مساوية لـ ٧٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين Vo2 max.

ومع زيادة استمرارية عمليات التدريب البدني يزداد اشتراك الأحماض الدهنية في عمليات الأكسدة على الرغم من وجود بعض العوامل التي قد تؤثر عليها مثل نسبتها في الجسم.

ولم يثبت حتى الآن وجود سيطرة مباشرة للهورمونات على استهلاك الأحماض الدهنية، ويعتمد معدل استهلاك تلك الأحماض الدهنية على التدريبات البدنية، وثبت أن نسبة استهلاك الأحماض الدهنية في التمارين الرياضية البسيطة أو المتوسطة أقل منها في التمرينات البدنية الشديدة.

تزداد عمليات استهلاك الأحماض الدهنية في بداية عمليات التدريب البدني حيث تحدث زيادة في نسبة الأحماض الدهنية المتجهة إلى العضلات العاملة، إلا أن نسبة استهلاكها لا تكون مساوية لنسبة تواجدها في تلك العضلات.

ومع استمرار التدريب البدني يزداد معدل تحرك الأحماض الدهنية من الأنسجة الدهنية إلى الدم حتى يتساوى مع معدل استهلاك الأحماض الدهنية بل وقد يزيد عنه فتزداد نسبة الأحماض الدهنية في الدم.

وكما ازدادت شدة التدريب البدني ازداد مستوى الأحماض الدهنية في البلازما مادام لم يحدث تجمع في حامض اللاكتيك، وهكذا مع زيادة فترة التدريب تزداد نسبة الأحماض الدهنية في البلازما لتستمر عمليات أكسبتها.

وعلى الرغم من أن القدرة على أكسدة الأحماض الدهنية عند نسبة معينة في الدم تعتمد على نشاط إنزيم يسمى (ب أوكسيد B-oxidative) وإنزيمات دورة كريبز (Krebs Cycle enzymes) إلا أن القدرة المؤكسدة للعضلات المخططة لا تعتمد تماماً على معدل استخدام الأحماض الدهنية أثناء التدريب.

وعلى سبيل المثال: في لاعبي الجري ذوى المعدلات المتساوية لأكسدة الأحماض الدهنية في غضون الساعة الأولى من الجري، وجد أن هناك farkاً في نشاط بعض الإنزيمات بالعضلات المخططة مثل إنزيم (كارنيتين باليميتول ترانزفر - Carnitaine Palmi toy ltrans) ويرمز له بالرمز (CPT-1)، وهذا يؤثر على قدرة هذه العضلات في أكسدة الأحماض الدهنية.

وإنزيم (CPT-1)، موجود على السطح الخارجي للجدار الداخلي للميتوكوندريا (Mitochondrial)، وقد ثبت أن هذا الإنزيم يلعب دوراً هاماً في تنظيم عملية الأكسدة للأحماض الدهنية في الكبد.

الكوليسترول، Cholesterol

الكوليسترول هو أحد دهون الدم، ويشكل عام فهو مادة عضوية من أصل طبيعي تذوب في مذيبات خاصة تسمى مذيبات الدهون مثل الإثير والكحول ولاتذوب في الماء وهي تتكون من سلسلة طويلة من الهيدروكربون.

وعندما يتنقل الكوليسترول متحدا مع جزء بروتيني يسمى ليبوبروتين Lipoprotein، ويكون إما على صورة ليبوبروتين عالي الكثافة ويرمز له بالرمز (HDL-L)، أو يكون منخفض الكثافة ويرمز له بالرمز (LDL-L) والفارق بين الاثنين هو أن HDL يبقى معلقا في سائل البلازما أثناء رحلته داخل الجهاز الدوري، وعند عودته إلى الكبد يتم تثيله وبالتالي عملية إخراج، على العكس من ذلك فإن LDL ذو جزيئات بروتينية أكبر ويميل نحو الترسيب داخل جدار الأوعية الدموية، والمعتقد أنه مدامت نسبة HDL أكثر من ٦٠٪ فإنه لا يحدث ترسيب ذا قيمة للدهون.

ويرجع كثير من العلماء أسباب ارتفاع الكوليسترول إلى النواحي الوراثية والسمنة الزائدة وقلة ممارسة النشاط البدني وبعض الأمراض الأخرى.

والنسبة الطبيعية لكوليسترول الدم الكلي تتراوح من ٦٠-٢٠٠ ملليجرام/نسبة LDL تتراوح من ٦٠-١٦٠ ملليجرام/، ونسبة تراكب جليسيريد تتراوح من ٥٠-١٨٠ ملليجرام/.

تأثير التدريب البدني على الكوليسترول:

Effect of Fraining on The Cholesterol:

تشير معظم الأبحاث الميدانية الحديثة التي أجريت في هذا المضمار أنه توجد علاقة إيجابية بين مستويات التدريب البدني وخفض نسبة الليبوبروتين عالي ومنخفض الكثافة، حيث تشير (ماري وآخرون Mary, etul ٩٨٥) إلى أنه كلما زادت التدريبات أدى إلى نقص معدل الدهون بالدم - بينما لم يحدث تغيير في نسبة كوليسترول عالي الكثافة HDL، كما أشارت النتائج إلى وجود علاقة بين LDL، وأمراض شرايين القلب.

ويشير (رويل Rowell ١٩٩٦) إلى أن التدريب البدني المنتظم يكون ذا قيمة كبيرة في تحسين النسبة الخاصة بكل من الليبوبروتين عالي ومنخفض الكثافة، وهو بذلك يعتبر عاملا مساعدا في تقليل الإصابة بأمراض القلب.

وأجرى (جولنك Gollnick ١٩٨٨) دراسة عن تأثير تناول كميات عالية من الكربوهيدرات وأخرى منخفضة من الدهون على نسبة الكوليسترول لدى كبار السن، وأظهرت النتائج انخفاض دال معنوي في مستوى الكوليسترول حيث بلغ ٢١٠ ملليجرام٪ في القياس القبلي ثم انخفض إلى ١٧٥ ملليجرام٪ في القياس البعدي، كما حدث انخفاض دال معنوي في تراكيز جلوسيد حيث بلغت ١٥٥ ملليجرام٪ في القياس القبلي ثم انخفضت إلى ١٣٨ ملليجرام٪ في القياس البعدي.

ويشير (مارك هارجيفز Mark ١٩٩٥) إلى أهمية العلاقة بين التمرينات البدنية ونسبة الليبوبروتين وهورمونات الذكورة، حيث إن التدريب البدني يحسن من مستوى HDL لدى البنين، وليس البنات؛ وذلك بسبب وجود هورمونات الذكورة لدى البنين حيث تبين أن هورمون (تستوسترون واستروجين Estrogen و Testosterone) يؤثران إيجابيا في تحسن LDL وذلك بعد التدريب البدني لمدة عشرة أسابيع.

وتشير نتائج دراسات كل من (دافيد David ١٩٧٩)، (ماري Mary ١٩٨٥)، (كاجار Kajar ١٩٩١)، (مارك Mark ١٩٩٥)، إلى أن جرى المسافات الطويلة والتدريبات البدنية الهوائية تؤدي إلى تحسن في نسب دهون الدم وخاصة الليبوبروتين عالي ومنخفض الكثافة، وبالتالي يتحسن وزن الجسم وتقل درجة السمنة وكل ذلك يؤدي إلى تحسن الصحة بشكل عام.

وتؤكد نتائج تلك الدراسات أيضا أن هناك علاقة بين السمنة ومرض نقص توريد الدم لعضلة القلب وتوجد عوامل متعددة تساعد على ذلك منها على سبيل المثال:

- زيادة حمل شغل القلب وزيادة ضغط الدم الناجمين عن زيادة وزن الجسم.
- زيادة تصلب الشرايين الناجمة عن زيادة تعاطي السرعات الحرارية وزيادة نسبة الدهون في الدم، وارتفاع ضغط الدم، وقلة تمثيل الجلوكوز المصاحب لوزن الجسم.
- قلة النشاط البدني المصاحب للسمنة، ويرون جميعا أن التدريب يقلل من وزن الجسم بزيادة استهلاك الطاقة.

وأجرى مؤلف هذا الكتاب دراسة عن تأثير التدريب البدني مرتفع الشدة ومنخفض الشدة على وزن الجسم ونسبة الدهون وكوليسترول الدم وليبوبروتين عالي ومنخفض الكثافة، وقد أجريت الدراسة على عينة مكونة من ١٨ فردا خضعوا لبرنامج تدريب مرتفع الشدة وآخر منخفض الشدة، واستغرقت تجربة البحث ١٢ أسبوعا.

أوضحت نتائج الدراسة أنه قد حدث انخفاض غير دال في وزن الجسم لدى مجموعتي البحث، وحدث انخفاض دال معنويًا في نسبة دهن الجسم بين مجموعة البحث لصالح البرنامج مرتفع الشدة، وأشارت النتائج إلى انخفاض دال معنويًا في كولسترول الدم CHOL بين مجموعتي البحث نتيجة برنامج التدريب مرتفع ومنخفض الشدة وذلك كما يوضحه الجدول التالي.

جدول (٢) تأثير التدريب على بعض المتغيرات في الجسم

المتغير	مجموعة ١ تدريب مرتفع الشدة		مجموعة ٢ تدريب منخفض الشدة		الفرق بينهما	قيمة ت
	س	ع	س	ع		
وزن الجسم / كجم	٦٩,٩٠	٣,٥٠	٧١,٢٠	٢,٨٠	١,٣٠	٢,١٦
نسبة دهن الجسم %	١٥,٩٠	٠,٩٠	١٧,٢٠	١,٤٠	١,٣٠	*٣,٦١
كولسترول CHOL ملليجرام/	١٧٨,٧٠	١١,٥٠	١٨٠,٥٠	٨,٦٠	١,٨٠	١,٦٦
تراي جليريد TG ملليجرام/	٧١,١٠	١٢,٦٠	٨٥,٩٠	١٩,٣٠	١٤,٨٠	*١٠,٨٨
HDL-C ملليجرام/	٤٤,٠٠	٣,٦٠	٤٧,٨٠	٣,٢٠	٣,٨٠	*٦,٠٣
HDL-C ملليجرام/	١٢٠,٤٠	١٠,٩٠	١١٥,٧٠	٦,٧٠	٤,٧٠	*٤,٦٥

(عن بهاء سلامة ١٩٩٠)

• دال عند ٠,٠١

كما أوضحت النتائج أنه قد حدث انخفاض دال معنويًا في تراي جليريد بين مجموعتي البحث بعد الأسبوع الثاني عشر ولصالح المجموعة التي خضعت لبرنامج تدريب مرتفع الشدة، كما حدثت زيادة دالة معنويًا في HDL بين مجموعتي البحث نتيجة برنامج التدريب مرتفع الشدة ومنخفض الشدة ولصالح برنامج التدريب منخفض الشدة، وأشارت النتائج أيضًا إلى وجود فروق ذات دلالة معنوية بين مجموعتي البحث في متغير LDL ولصالح برنامج التدريب منخفض الشدة.



الفصل الثالث

التمثيل الغذائي للبروتينات



- المقدمة
- تخليق البروتين
- هدم البروتين
- هدم البروتين في النشاط البدني
- فوائد البروتين
- التقسيم الكيميائي للبروتين
- البروتينات البسيطة
- البروتينات المركبة
- الأحماض الأمينية
- تمثيل الأحماض الأمينية
- مجموعة الأمينو
- تحولات بعض الأحماض الأمينية في العمليات الحيوية
- كرياتين وكرياتينين
- أرجينين - سيستين
- تربتوفان
- الأحماض النووية
- تركيب الأحماض النووية
- تركيب النيوكليوتيد والنيوكلوزيد

البروتينات: Proteins

المقدمة:

تعتبر البروتينات من أهم مكونات المادة الحية، حيث ترتبط عمليات النمو في الإنسان ارتباطا وثيقا بالبروتينات بجانب العديد من المواد الأخرى عضوية وغير العضوية.

ويتكون جزء البروتين من العديد من الأحماض الأمينية Amino acid مرتبطة مع بعضها بروابط ببتيدية Peptid، وبعض الروابط الأخرى مثل الروابط الأيدروجينية وغيرها، وجميعها يساهم في بناء جزء البروتين حتى يأخذ حجمه وشكله النهائي تبعا للوظيفة التي يؤديها.

وتشير نتائج التحليل المائي للبروتين أنه يتكون من حوالي ٢٢ حامض أميني منها عشرة أحماض أمينية أساسية Essential amino acid والباقي عبارة عن أحماض أمينية غير أساسية.

وجميع البروتينات في الخلايا الحية تكون دائما في حال ديناميكية Dynamic State من التغيير والتجديد المستمر، وهذا يعني أن عمليات بناء وهدم البروتينات (Anabolism and Catabolism) في الخلايا الحية مستمرة وهي ما تعرف بعملية الأيض أو التمثيل (Metabolism).

تخليق البروتين، Protein Synthesis

تتخلق البروتينات من الأحماض الأمينية السابق ذكرها، والتي يكون مصدرها الغذاء أو التي تنتج أثناء العمليات الحيوية الخاصة بهدم البروتينات.

ويعتبر البروتين الحيواني «كاملا» وذلك لاحتوائه على كل الأحماض الأمينية الأساسية، بينما يعتبر البروتين النباتي «غير كامل» حيث إنه لا يحتوي على كل الأحماض الأمينية الأساسية.

ويعتبر البروتين الحيوانى «كاملا» وذلك لاحتوائه على كل الأحماض الأمينية الأساسية، بينما يعتبر البروتين النباتى «غير كامل» حيث إنه لا يحتوى على كل الأحماض الأمينية الأساسية.

ويمكن تقييم نوع البروتين عن طريق القيمة الحيوية به، وهى عبارة عن البروتين المحتجز والبروتين المتص.

وتتميز الأنواع المختلفة للبروتينات بتتابع الأحماض الأمينية الببتيدية بكل منها من خلال السلاسل الببتيدية تبعا لنوع البروتين.

وتتم عمليات تخليق البروتين بواسطة تفاعلات كثيرة فى التحليل المائى وهو تفاعل طاقة داخلى endergonic للروابط الببتيدية، ويحتاج أيضا إلى إمداد خارجى من الطاقة، وتتوفر هذه الطاقة لتكوين رابطة ببتيدية بازدواج التفاعل البنائى مع تفاعل طاقة خارجى قوى، وتعرف هذه العملية بالتنشيط Activation.

وعادة يتحد الحمض الأمينى المنشط، مع الحمض النووى ريونيو كليك RNA فى السيتوبلازم، ويوجد لكل حمض أمينى الحمض النووى الخاص به، ويلامس هذا التفاعل الإنزيم الخاص به أيضا.

ويتم اتحاد الحمض الأمينى المنشط عن طريق مجموعة الكربوكسيل مع مجموعة الهيدروكسيل الموجودة على ذرة الكربون رقم ٣ فى الريبوز الموجود فى آخر سلسلة الحمض النووى.

ويتعرف كل حمض أمينى على الحمض النووى الخاص به بواسطة الإنزيم النوعى (من مجموعة إنزيمات التخليق) المرتبط فى خطوة التنشيط.

هدم البروتين، Protein Catabolism

تسير عملية تكسير «Breakdown» وهدم البروتينات بصورة متوازنة مع عملية التخليق والبناء، وذلك بفعل إنزيمات التحلل المائى التى تشتمل على مجموعة من الإنزيمات هى المسئولة عن عملية الهدم.

وتعمل إنزيمات التحلل المائى على تكسير الروابط الببتيدية فى جزيئات البروتين وتحلل إلى مركبات أقل فى الوزن الجزيئى تدريجيا مثل البروتوزات «Protoses» والببتونات «Petoneses» وتنتهى عملية التحلل المائى إلى تكوين الأحماض الأمينية.

تنتقل الأحماض الأمينية إلى أماكن تخليق البروتين وتدخل في تخليق جزيئات جديدة من البروتينات، وقد تتعرض الأحماض الأمينية لتزع مجاميع الأمينو، وتنفرد الأمونيا والأحماض العضوية، وذلك بالدخول في تفاعلات وعمليات حيوية حسب الحالة الفسيولوجية واحتياجات الخلية.

وإذا كانت عملية بناء وتخليق البروتين تحتاج إلى طاقة لإتمامها فإن عملية الهدم تنفرد منها كمية من الطاقة.

ولوحظ أنه في بعض إنزيمات التحلل المائي تتأثر الروابط الببتيدية في داخل السلسلة الببتيدية الطويلة التي يتكون منها البروتين ويطلق عليها اسم «إنتوبتيداز Endopeptidases» ومنها على سبيل المثال إنزيم «البسين Pepsine» في المعدة وكذلك «التريسين Trypsin» في البنكرياس.

ويجب الإشارة إلى أن كلا من عمليتي الهدم والبناء تحدث بصفة مستمرة في الخلايا، مما يؤدي إلى تجديد وتغيير البروتين باستمرار «Protein Turnover» ويختلف معدل وسرعة ذلك باختلاف البروتينات والأنسجة.

هدم البروتين في النشاط البدني:

وإذا كان هناك توازن بين الهدم والبناء في الإنسان البالغ النمو فإن معدل سرعة البناء تفوق عادة معدل سرعة الهدم لبروتينات الأطفال وغير البالغين.

وفي النشاط الرياضي تزداد عمليات هدم البروتينات، مثلها في ذلك مثل الحالات المرضية أو حالات الجوع الشديد.

وتدل نتائج دراسات عديدة في هذا المجال أن النشاط البدني يساعد على زيادة إيقاع عمليات التخليق والبناء والهدم حيث تكون البروتينات دائما في حالة حركة ديناميكية.

وتختلط الأحماض الأمينية الناتجة من تكسير بروتينات الجسم مع الأحماض الأمينية الناتجة من الغذاء لتصبح الاحتياطي العام لتمثيل البروتينات.

ويساعد العمل البدني بروتينات البلازما والبنكرياس والكبد والكلية بانخفاض معدل تغيرها، بينما تتميز بروتينات العضلات والجلد بزيادة معدل تغيرها، وأحيانا يختلف معدل تغير البروتينات في النسيج الواحد تبعا لعمر الفرد ومكان التغير.

فوائد البروتينات:

تدخل البروتينات فى تكوين الإنزيمات والهورمونات بالجسم، كما تتكون منها بروتينات الأنسجة لتحل محل الأنسجة التالفة أو البالية، ويتكون منها النسيج العضلى والنسيج الليفى والضام، وكذلك تكوين بروتينات البلازما مثل الألبومين والجلوبيولين، وكذلك تكوين الأجسام المضادة التى تساعد على مقاومة الأمراض، وتشارك فى تكوين بعض أجزاء الهيموجلوبين، علاوة على الدور الهام الذى تلعبه البروتينات فى نقل الصفات الوراثية من خلال الأحماض النووية، ولذلك يعرفها بعض العلماء بأنها مادة الحياة أو الأساس الهام فى استمرار الحياة.

ويقدر الاحتياج اليومى للشخص البالغ من البروتين حوالى جرام واحد لكل كيلوجرام من وزن الجسم، وتزداد هذه الكمية لدى بعض الأفراد وخاصة الرياضيين أو عند الأم الحامل والمرضع.

التقسيم الكيميائى للبروتين

البروتينات البسيطة، Simple Proteins

ينقسم ذلك النوع من البروتين تبعاً لعدة خواص مميزة إلى عدة مجموعات فرعية هى:

١- بروتامين: Protamine

هو أبسط أنواع البروتين ولا يحتوى على الكبريت، ولكنه يعطى أملاحاً بلورية، ويوجد بكثرة فى الأسماك.

٢- هستون: Histone

هو بروتين ذو خواص قاعدية ويوجد على هيئة نيوكلو بروتين فى كرات الدم الحمراء والبيضاء.

٣- ألبومين: Albomine

بروتين يذوب فى الماء ويتخثر عند التسخين ويكثر فى زلال البيض ومصل الدم والنسيج العضلى.

٤- جلوبيولين: Globuline

يذوب فى محاليل الأملاح ويوجد مع ألبومين أينما وجد.

٥- البرولامين: Prolamine

يوجد فى الحبوب ومنه نوعان

أ- الجلليادين Gliadine

ب- الجلوتين Glutene

وكلاهما موجود فى القمح وهو الذى يعطى العجينة ما يعرف بالمرق.

٦- سليكروبروتين: Selceroprotein

وهى غير قابلة للذوبان فى الماء ومنها الكيرياتين والكلوجين والإلستين حيث الأول فى الشعر والجلد، والثانى فى النسيج الضام والغضاريف والثالث فى الأنسجة المرنة.

البروتينات المركبة، Conjugated Proteins

١- فوسفوبروتين: Phosphoprotein

وهو يحتوى على الفوسفور مثل كازين اللبن، حيث يتسم بخواص جمضية، وهو يذوب فى المحاليل المخففة للقلويات، ويوجد الكازين فى اللبن على هيئة ملح الكالسيوم، ويوجد الفوسفوبروتين فى صفار البيض وفى الأسماك.

٢- الجلوكوبروتين: Glucoprotein

يوجد فى الغدد اللعابية وفى الكبد وفى غدد الأمعاء وفى الغضاريف وزلال البيض، وهو يحتوى على مواد كربوهيدراتية من النوع المتعدد.

٣- الليبوبروتين: Lipoprotein

يحتوى على بروتين ومواد دهنية لا تذوب فى الماء ولكن بعد اتحادها بالبروتين يمكن أن تسيح فى الماء، وهناك علاقة بين هذا النوع ودهون الدم ومنها يتكون ما يعرف بمادة الكولسترول.

٤- الكروموبروتين: Chromoprotein

البروتينات المقسونة بالمواد الملونة مثل الهيموجلوبين المادة الملونة لكرات الدم الحمراء وكذلك مادة الكلوروفيل الموجودة فى النبات، والمادة الزرقاء فى الحيوانات اللافقارية التى تعرف بالهيموساينين.

التمثيل الحيوى للطاقة فى المجال الرياضى

٥- النيوكلوبروتين: Nucleoprotein

وهذه توجد فى نواة الخلايا وهى تتحلل إلى الأحماض النووية والتي تكون مسئولة عن حمل ونقل الصفات الوراثية عبر الأجيال والمعروفة بـ DNA ، RNA، وسوف يتم التعرض لهما بالتفصيل فى جزء لاحق من هذا الفصل.

الأحماض الأمينية: Amino Acids

تعتبر الأحماض الأمينية هى اللبنة الأولى التى يتكون منها جزيء البروتين، وتركب كما سبقت الإشارة من مجموعة سلاسل طويلة بواسطة ما يسمى الروابط الببتيدية.

ويوجد بالجسم حوالى ٢٢ حمض أمينى منها ما هو أساسى ومنها ما هو غير أساسى.

الأحماض الأمينية الأساسية: Essential amino acids

١- تريوفان	Tryptophan
٢- ثرونين	Threonine
٣- ليوسين	Leucine
٤- لايسين	Lysine
٥- إيزوليسين	Isoleucine
٦- ميثونين	Methionene
٧- فالين	Valine
٨- فينيل ألانين	Phenyl Alanine
٩- هستدين	Histidine

الأحماض الأمينية غير الأساسية: Non Essential amino acids

١- ألانين	Alanine
٢- برولين	Proline
٣- جيلسين	Glycine
٤- أسبرجين	Asparagine
٥- سيستان	Cysteine
٦- سيستين	Cystine

Glutamin	٧- جلوتامين
Aspartic acid	٨- حامض أسبرتك
Serine	٩- سرين
Tyrosine	١٠- تيروسين
Arginine	١١- أرجينين

تمثيل الأحماض الأمينية: Amino Acid Metabolism

بعد هضم وامتصاص البروتينات الموجودة في الغذاء، تتحلل إلى الأحماض الأمينية التي يمكن أن تستخدم للأغراض البنائية لبناء جزيئات جديدة من البروتين أو أن تستخدم في عمليات الهدم.

وفي معظم تفاعلات الهدم وبعض تفاعلات البناء تتعرض الأحماض الأمينية لنزع مجاميع الأمين وتكوين الأحماض العضوية الكيتونية وتسلك كل من هذه النواتج المسالك الخاصة بها.

ويمكن أن يدخل النيتروجين في تخليق البيورينات، وأما الهيكل الكربوني للأحماض الأمينية فإن معظمه يتجه نحو تكوين المواد الكربوهيدراتية والقليل منها يدخل في تكوين الأحماض الدهنية وتأكسد هذه المكونات الحيوية خلال دورة كريبز إلى ثاني أكسيد كربون وماء كنواتج نهائية لعمليات التمثيل.

ويجب ملاحظة أن بعض الأحماض الأمينية تسلك مسالك خاصة في مجرى التحولات الحيوية وتعطى نواتج نهائية مختلفة مثل الكبريتات والكرباتينين. ويقدر التركيز الطبيعي للأحماض الأمينية في الدم ما بين ٣٥-٦٥ ملليجرام/ل.

مجموعة الأمينو: Amino Group

عملية انفصال مجموعة الأمينو من الحمض الأميني لتكوين الأحماض العضوية الكيتونية المقابلة للهيكل الكربوني للأحماض الأمينية تعتبر خطوة رئيسية في بداية التحولات الحيوية التي تحدث للأحماض الأمينية، وتتم عملية نزع مجموعة الأمينو بعدة طرق نذكر منها:

- ١- نزع مجموعة الأمينو بالأكسدة: Oxidative deamination

٢- نزع مجموعة الأمينو بغير الأكسدة: Non Oxidative deamination

Transamination

٣- نقل مجموعة الأمينو

Trans deamination

٤- عبور مجموعة الأمينو

تحويلات بعض الأحماض الأمينية في العمليات الحيوية:

تشمل هذه العملية تكوين وتحولات الأحماض الأمينية في العمليات الحيوية المعقدة، والتي تتم من خلال مجموعة تفاعلات معقدة لا مجال لذكرها في هذا الكتاب.

وسوف نقتصر على مناقشة وإيضاح مبسط لتحويلات واحد أو أكثر من الأحماض الأمينية الهامة في التحويلات بالخلايا والتي تدخل في مركبات حيوية هامة.

١- كرياتين وكرياتينين: Creatine and Creatinine

عملية تكوين الكرياتين تتم في خطوتين في الكلية والكبد والبنكرياس.

* ففي الخطوة الأولى تنتقل مجموعة (الأميدين amidine) من الأرجنين إلى الحمض الأميني ليتكون مركب (جواندو Guanido).

* وفي الخطوة الثانية تنتقل مجموعة (ميثينين Methinonine) من الحمض الأميني إلى الجليكوسيامين ليتكون الكرياتين.

* وفي الخطوة الثالثة يتزع جزء ماء من الكرياتين ليتكون الكرياتينين الذي يفرز في البول.

والكرياتين مادة مستقبلية للفوسفات لأنها مشتقة من «فوسفو كرياتين Phospho creatine» (PC) والذي يحتوي على رابطة فوسفاتية ذات طاقة عالية وهو منتج للفوسفات.

٢- أرجنين: Arginine

يتنشر الأرجنين في جميع البروتينات، وعلى الرغم من أنه حمض أميني غير أساسي، إلا أنه يتحلل في العمليات الحيوية في الفقاريات إلى يوريا وكرياتينين.

ويتكون الأرجنين من الأورنتين الذي يتكون بدوره من حمض جلوتاميك، وقد اقترح كريبز Krebs وآخرون دورة توضح تكوين الأرجنين حيث ينتهي إلى تكوين اليوريا.

ويتحلل الأرجنين بتأثير إنزيم أرجينيز إلى يوريا Urea ويتم تخليقها في الكبد نتيجة تحولات الأحماض الأمينية.

٣- سيستين Cystine

يتكون هذا الحمض الأميني من سيرين Serine وهو حمض غير أساسى .

٤- تريبتوفان: Tryptophan

يتكون هذا الحمض الأميني الأساسى بإدخال مجموعة الأمينو بالاختزال لحمض البيروفك Pyruvate .

والتحولات الحيوية له عديدة ويتكون عنها الكثير من المركبات الحيوية الهامة مثل حمض نيكوتينك وحمض الخليك .

الأحماض النووية: Nucleic Acids

اكتشف الحمض النووى (ريبونوكليك Ribonucleic acid RNA) وتم عزله لأول مرة من الخميرة yeast .

واكتشف الحمض النووى (دى أوكسى ريبونوكليك DNA) فى غدة التيموس .

وفى الوقت الحاضر تم استخلاص الأحماض النووية والتعرف على أنواعها وثبت وجود كل من RNA ، DNA فى جميع الخلايا الحية .

وتتواجد الأحماض النووية فى الخلايا الحية مرتبطة بالبروتين مكونة البروتينات النووية Nucleoproteins وهو نوع من البروتينات المرتبطة .

وتشكل الأحماض النووية فيه الجزء اللابروتينى (أى المجموعة التعويضية) وتعزى أهمية البروتينات النوية إلى الخواص الكيميائية والبيولوجية لتلك المجموعة التعويضية .

أما الجزء البروتينى فى البروتينات النووية غالباً ما يكون من نوع البروتامينات Protamines والهستونات Histones .

وتتميز هذه البروتينات بأن تأثيرها قاعدى نظراً لسيادة الأحماض الأمينية القاعدية بها مثل الأرجنين .

البروتامينات والهستونات: Protamines and Histones

تتميز البروتامينات بانخفاض الوزن الجزيئى، وهى قاعدية التأثير نظراً لاحتوائها على الأحماض الأمينية القاعدية مثل الأرجنين، وهى تحمل شحنة كهربية موجبة فى الوسط الفسيولوجى العادى للخلية .

أما الهستونات فإنها قاعدية أيضا، إلا أنها أكثر تعقيدا وتتميز بارتفاع الوزن الجزيئي، وهى تحتوى على عدة أنواع من الأحماض الأمينية أغلبها من النوع القاعدى مثل الليسين والارجنين والهستدين.

ويلاحظ أن نقطة التعادل الكهربى للأحماض النووية تقع فى الجانب الحامضى من قيمة PH وعلى ذلك تكون محملة بشحنة كهربية سالبة فى الوسط الفسيولوجى فى الخلية، وترتبط الأحماض النووية بالبروتينات النووية بروابط محلية.

وقد ترتبط الأحماض النووية فى بعض الأحيان بأنواع أخرى من البروتينات أكثر تعقيدا من البروتينات والهستونات بواسطة روابط تساهمية وتتواجد كل من DNA، RNA فى النواة والسيترولازم.

وترجع أهمية البروتينات النووية إلى دورها المباشر فى علم الوراثة وتخليق الجينات Gens عبارة عن بروتينات نووية.

تركيب الأحماض النووية:

تتميز بارتفاع الوزن الجزيئى لها وتحتوى على الفوسفوريك وبتوز وقواعد نتروجينية وهى كالتالى:

جدول (٣) تركيب الأحماض النووية

R N A		D N A	
H3 Po4	فوسفوريك	H3 Po4	فسفوريك
Ribose	ريبوز	Dezoxy ribose	ديزوكسى ريبوز
Adenine	أدينين	Adenine	أدينين
Guanine	جوانين	Guanine	جوانين
Cytosine	سيتوزين	Cytosine	سيتوزين
Uracid	يوراسيد	Thymine	ثيمين

يلاحظ وجود اختلاف بين المكونات الرئيسية للحامضين حيث يحتوى DNA على سكر ديزوكسى ريبوز، بينما يحتوى RNA على سكر الريبوز، ويحتوى RNA يوراسيل بينما يحتوى DNA على ثيمين.

وفى الأحماض النووية تتواجد البتوزات فى الصورة الغروانية

تركيب النيوكليوتيد والنيوكلوزيد،

قاعدة نروجينية	نيوكلوزيد Nucleosid	نيوكليوتيد Nucleotid
Adenine أدينين	Adenosine أدينوزين	حمض أدينيليك Adenylic Acid
Guanine جوانين	Guanosine جوانوزين	حمض جوانيليك Ganylic Acid
Cytosine سيتوزين	Cytosine سيتوزين	حمض سيتيدليك Cytidylic Acid
Thymine ثيمين	Thymidine ثيميدين	حمض ثيميديليك Thymidylic Acid
Uracil يوراسيل	Uridine يوريدين	حمض يوريدليك Urtidylic Acid

تعتبر النيوكليوتيدات أثيرات فوسفاتية للنيوكلوزيدات حيث يرتبط حمض الفوسفوريك مع ذرة كربون رقم ٣ أو ٥ فى سكر الريبوز فى جزئ RNA أو فى ديزوكسى ريبوز فى حالة DNA.

وعند فسفرة حمض أدينيليك Adenylic يتكون أدينوزين ثنائى الفوسفات ADP وباستمرار الفسفرة يتكون أدينوزين ثلاثى الفوسفات ATP.

وفى حالة الجوانوزين Guanosine أحادى الفوسفات ينتج جوانوزين ثنائى وثلاثى الفوسفات وهكذا.

الفصل الرابع

الطاقة في عمليات التمثيل الغذائي



- مقدمة
- المرحلة الأولى
- المرحلة الثانية
- المرحلة الثالثة
- المركبات ذات الطاقة العالية
- المركبات ذات الطاقة المنخفضة
- ثلاثي أمينوزين الفوسفات
- أكسدة الكربوهيدرات
- الأكسدة اللاهوائية
- الأكسدة الهوائية



الطاقة في عمليات التمثيل الغذائي

المقدمة:

جميع المواد الغذائية التي يتناولها الإنسان هي المسئولة عن خروج الطاقة التي تحتاج إليها الخلايا، وتسمى عملية هدم المواد الغذائية بـ (Catabolism) وتسمى عملية البناء (Anabolism) ويمكننا أن نقسم عملية هدم المواد الغذائية إلى ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى،

وفيها تتحلل المركبات العضوية المعقدة ذات الوزن الجزيئي المرتفع إلى مركبات أبسط منها، حيث تتحلل الكربوهيدرات إلى هكسوزات (Carbohydrates \Rightarrow Hexose)، وتتحلل المواد البروتينية إلى أحماض أمينية (Protein \Rightarrow Amino acid) وتتحلل المواد الدهنية إلى أحماض دهنية وجليسرول (Fat \Rightarrow FFA + glycerol).

وجدير بالذكر أن كمية الطاقة تخرج على صورة حرارة مع ملاحظة أن كمية الطاقة الحرة للتحلل لكل واحد جرام تكون على النحو التالي:

- ٤,٣ كيلو كالورى للروابط الجليكوزية فى النشا
- ٣,٠ كيلو كالورى للروابط الببتيدية فى البروتين
- ٩,٠ كيلو كالورى للروابط الجليسرولية فى الدهون

المرحلة الثانية:

وفيها تتحول نواتج المرحلة الأولى إلى عدد بسيط من المركبات، تتم أكسبتها فى المرحلة الثالثة، حيث تتحول الهكسوزات (Hexose) والأحماض الدهنية (FFA) إلى إسترات فوسفاتية.

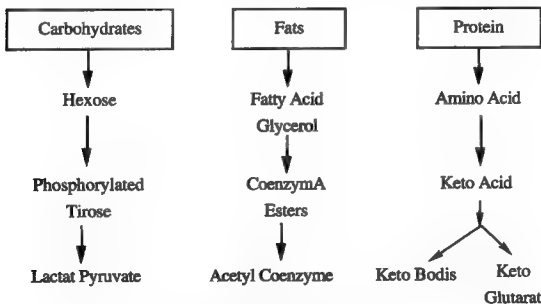
ويمكن للهكسوزات تحت الظروف اللاهوائية Anaerobic Condition أن تتكسر جزئياً وتنتج لكتات Lactat وكحول، أما في الظروف الهوائية فإن الناتج يكون البيروفات Pyruvic والتي تتأكسد إلى أستيل كوايزيم Acetyl Coenzyme.

وتتحول الأحماض الأمينية بعد نزع مجموعة الأمين إلى الأحماض الكيتونية Deto acids، حيث يسلك التروجين والسكرت مسلكاً خاصاً وتظهر في النهاية اليوريا والأمونيا (Uric Acid, Amonia). وكبريتات غير عضوية، أما الهيكل الكربوني لبعض الأحماض الأمينية فيتحول إلى أستيل كوايزيم وأجسام كيتونية Ketone Bodies.

المرحلة الثالثة:

وهي تعتبر أهم مرحلة من مراحل هدم المواد الغذائية من حيث كمية الطاقة المنطلقة، والتي تستفيد منها الخلية الحية، حيث تدخل نواتج المرحلة الثالثة في دورة كريبس أو دورة الأحماض ثلاثية الكربوكسيل (Tricarboxylic Acid or Krebs Cycle) وتستمر عمليات الأكسدة في الخلية ليكون في النهاية ثاني أكسيد كربون CO_2 والماء H_2O .

يتحول حوالي ٣٠ - ٤٠٪ من الطاقة المنفردة في المرحلة الثالثة إلى طاقة حرارية للمحافظة على حرارة الجسم، ويستفاد بـ ٦٠ - ٧٠٪ من الطاقة في عمليات التخليق الحيوي المختلفة.



شكل (٧) Tricarboxylic Acid Cycle

المركبات ذات الطاقة العالية ، High energy Compounds

من المعروف أن الطاقة الحرة الناتجة من التحليل المائي للروابط الكيميائية F ، A ، لا تعنى طاقة الروابط الكيميائية Bond Energy ، وتنقسم المركبات ذات الطاقة العالية إلى قسمين تبعاً لكمية الطاقة الحرة المنفردة من تحلل الروابط الكيميائية . وعموماً فإن مركبات الطاقة العالية تنفرد منها طاقة حرة قدرها من ٦-١٢ كيلو كالورى/ مول عند التحلل المائى لها .

ويواجه هذا التقسيم صعوبات منها أن المركبات العضوية تكون سلسلة متصلة من التفاعلات عند ترتيبها تصاعدياً أو تنازلياً تبعاً لكمية الطاقة الحرة لتحلل الروابط . فمثلاً هناك بعض المركبات ذات طاقة حرة للتحلل قدرها ٥ كيلو كالورى/ مول مثل هكسوزات الفوسفات (Hexose - 1- Phosphate) .

ومن أهم المركبات ذات الطاقة العالية المركبات الفوسفاتية مثل فوسفو إينول بيروفات (Phospho enol Pyruvate) وثلاثى أدينوزين الفوسفات (Adinosin Triphosphat) (ATP) .

٢- المركبات ذات الطاقة المنخفضة، Low energy Compounds

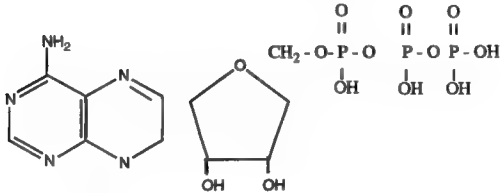
وهى المركبات التى تنفرد منها طاقة حرة قدرها من ٢-٤ كيلو كالورى/ مول عند تحلل الروابط الكيميائية مثل الجليروفوسفات وجلوكوز ٦ فوسفات وفركتوز ٦ فوسفات . شكل (٥) الطاقة الناتجة عن بعض المركبات

المركب	الطاقة الحرة
جليروفوسفات	٢,٢ كيلو كالورى / مول
جلوكوز ٦ فوسفات	- ٣,٠ كيلو كالورى / مول
فركتوز ٦ فوسفات	٣,٣ كيلو كالورى / مول
أدينوزين ثلاثى الفوسفات	- ١٢,٠ كيلو كالورى / مول
أدينوزين ثنائى الفوسفات	- ١١,٠ كيلو كالورى / مول

ثلاثي أدينوزين الفوسفات، Adenosin Tri - Phosphate

مركب (ATP)، (ADP) ثلاثي وثنائي أدينوزين الفوسفات، من بين المركبات ذات الطاقة العالية، وهي من نوع البيروفوسفات (Pyrophosphate) التي تتميز بمركز خاص من مجموعات ذات الطاقة العالية.

وتستخدم في التفاعلات التي تحتاج للطاقة؛ سواء كان ذلك بصورة مباشرة أو غير مباشرة، ونظرا لأن هذه المركبات ليست ثابتة (Unstable) في الخلية الحية فإنها لا تكتسب أهمية في تخزين الطاقة إذا ما قورنت بمركب (فوسفوكرياتين Phosphocreatin) وكذلك (فوسفو أرجينين Phosphoarginine) اللذان يؤديان دورا أساسيا في تخزين الطاقة بالخلايا العضلية لإمدادها بالطاقة وقت الراحة وعند بذل الجهد البدني.



Adenosine tri - phosphate (ATP)

ففي التفاعلات الحية بالخلايا العضلية تتقل الطاقة الكيميائية المنفردة من التفاعلات المنتجة إلى التفاعلات المستهلكة لها، فيمكن نقل مجاميع الفوسفات من مركب لآخر أو من ذرة إلى أخرى.

Creatin Kinase



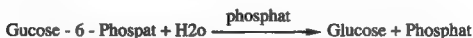
phosphohexokinase



ويلاحظ أن هذه التفاعلات عكسية reversible ويرجع ذلك إلى تقارب المركبات

ففي هذه التفاعلات تكون قيمة الطاقة الحرة الناتجة من التحليل المائي للرابطة الفوسفاتية الطرفية في المركب (ATP) تقارب قيمة الطاقة الحرة للرابطة المتكونة في مركب فوسفوكرياتين، وينطبق ذلك على روابط الأستروفوسفاتية لمركبات جلوكوز ٦ فوسفات.

وفي حالة نقل مجموعة الفوسفات من مركب ذي طاقة عالية إلى مستوى طاقة منخفض، وكذلك نقل الفوسفات من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى الصفر (Zero Level Inorganic Phos) تكون عادة مصحوبة بخروج كميات كبيرة من الطاقة الحرة، وتعتبر مثل هذه التفاعلات عمليا تفاعلات غير عكسية.



ويقوم نظام ATP، ADP بدور هام في نقل الطاقة والمجموعات الفوسفاتية في التفاعلات وفي العمليات الحيوية المختلفة، وذلك بتكوين تفاعلات ازدواجية، ترتبط فيها تفاعلات الهدم مع تفاعلات البناء عن طريق تكوين مركبات وسطية.

وعلينا أن نفرق بين عمليتين مختلفتين هما،

* التفاعلات الكيميائية المعملية تنفرد عنها طاقة حرارة heat energy ولا تتم بعض هذه التفاعلات إلا تحت درجات حرارة مرتفعة.

* التفاعلات الحيوية تتم في درجة حرارة الجسم العادية وتستخدم عنها الطاقة الكيميائية Chemical Energy للروابط ذات الطاقة العالية.

أكسدة الكربوهيدرات، Carbohydrate Oxidation

تتم أكسدة الكربوهيدرات في الجسم من خلال طريقتين هما:

الأكسدة اللاهوائية بـ Anaerobic Oxidation وتحدث هذه العملية أساسا في العضلات حيث تتأكسد الكربوهيدرات إلى حمض البيروفيك، وفي ظروف نقص الأكسجين حيث يتحول البيروفيك إلى حمض لكتيك (Lactic Acid).

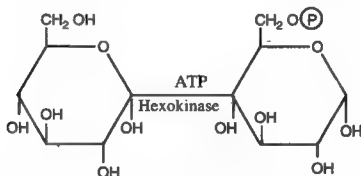
الأكسدة الهوائية: Aerobic Oxidation وهي استمرار لعملية الأكسدة اللاهوائية

حيث يتوفر الأكسجين ويكون الناتج النهائي هو ثاني أكسيد الكربون والماء.

١- الأكسدة اللاهوائية، Anaerobic Oxidation

تبدأ الأكسدة اللاهوائية بأن يتحول الجلوكوز إلى صورة أكثر طاقة هي الجلوكوز ٦- فوسفات والتي تعتبر الصورة النشطة من السكر والقابلة على الدخول بسهولة في التحولات الحيوية داخل الجسم.

ويلامس هذا التحول إنزيم Hexo Kinase الذي يجعل الجلوكوز قابلاً لاستقبال الفوسفات من الـ ATP كما يلي:



وعملية فسفرة الجلوكوز لتكوين جلوكوز ٦ فوسفات تعتبر عملية منتجة للطاقة وغير عكسية حيث تشمل تكسير أحد الروابط الغنية بالطاقة وتكوين رابطة فوسفات إستر فقيرة نسبياً بالطاقة.

ويؤثر على هذا التفاعل هرمونات الأنسولين، العوامل الموجودة في إفرازات الفص الأمامي للغدة النخامية Anterior Pituitary Factors وهرمونات قشرة الغدة فوق الكلى، وهذا التفاعل يعتبر من أهم التفاعلات في ميثابولزم الكربوهيدرات كما يلي:



١- يتحول الجلوكوز ٦ فوسفات \leftrightarrow جلوكوز ١ فوسفات \leftrightarrow جليكوجين.

٢- جلوكوز ٦ فوسفات \leftrightarrow جلوكوز (في الكبد بواسطة الفوسفاتيز).

٣- جلوكوز ٦ فوسفات \leftrightarrow فركتوز ٦ فوسفات (تستمر الأكسدة كما سيتضح فيما يلي:

٤- جلوكوز ٦- فوسفات \leftrightarrow جلوكوز ٦ فوسفات \leftrightarrow بيروز + CO_2 وهذه

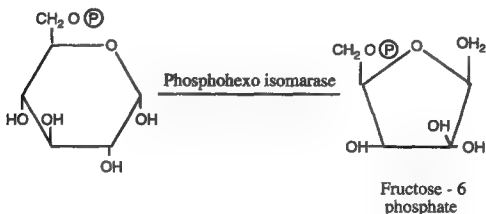
إحدى وسائل تكوين البتوزات داخل الجسم لكي تدخل في تكوين بعض المركبات الهامة.

إذا كانت المادة الكربوهيدراتية التي ستحول خلال Glycolysis هي الجليكوجين فإن الخطوة الأولى تكون تحليلها بواسطة إنزيم الفوسفوريلز إلى جلوكوز فوسفات والذي يتحول إلى جلوكوز ٦ فوسفات بواسطة إنزيم فوسفو جلوكوميوتيز.

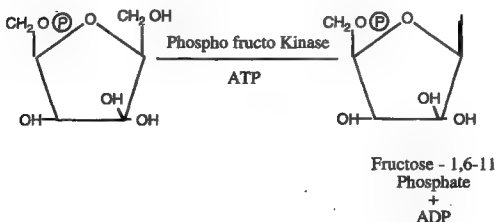
فوسفوريلز mutose

جليكوجين ← جلوكوز ١- فوسفات ← جلوكوز ٦- فوسفات.

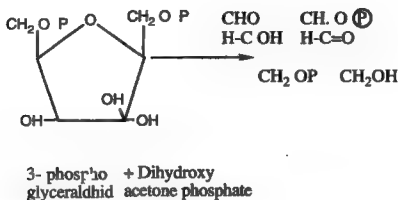
٢- يتحول جلوكوز ٦- فوسفات بتأثير فوسفو فركتوكيناز إلى فركتوز ٦ فوسفات.



٣- المركب فركتوز - ٦- فوسفات تحت تأثير إنزيم فوسفو فركتوكيناز يتحول إلى فركتوز ١,٦ داي فوسفات وذلك في وجود جزيء واحد من ATP.

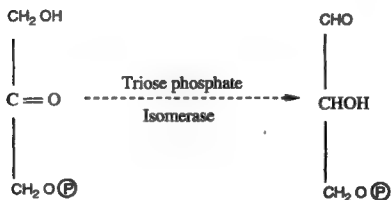


- ٤- المركب فركتور ١,٦ دای فوسفات تحت تأثير إنزيم الالوليز يتحول إلى
المركبين ٣- فوسفوجلسرالدهيد وفوسفو دای أوكس أسيتون حسب المعادل الآتية.

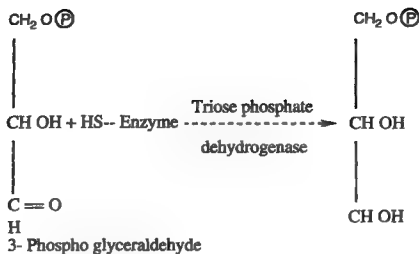


وبما يلاحظ أن ٣- فوسفوجلسرالدهيد يكون بنسبة ٥٪ وأما فوسفودای أوكسى
أسيتون بنسبة ٩٥٪.

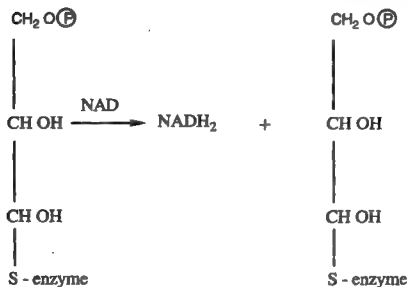
٥- المركب فوسفودای أوكسى أسيتون لا يتراكم بالنبات أو الحيوان ولكن تحت
تأثير إنزيم تريوز فوسفات إيزومريز يتحول إلى ٣- فوسفوجلسرالدهيد حسب المعادلة
الآتية:



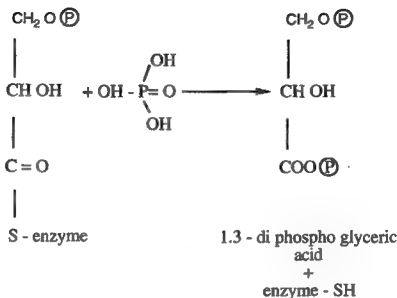
٦- المركب ٣- فوسفوجلسرالدهيد تحت تأثير إنزيم تريوز فوسفات ديهيدروجينيز
ومرافقة بالجلوتاثيون يعطى مركبا معقدا بين الإنزيم وذلك المركب حسب المعادلة الآتية:



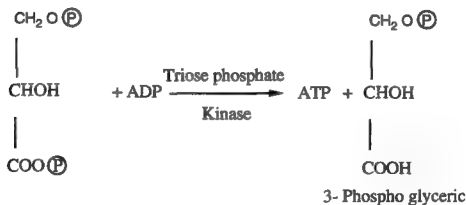
٧- الناتج السابق يتأكسد في وجود NAD ويعطى مركباً ذا طاقة عالية وذلك حسب التفاعل الآتي:



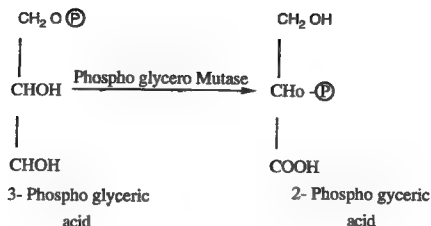
٨- الناتج السابق ذو الطاقة العالية تحت تأثير إنزيم الفوسفورليز يحدث له فسفرة في وجود حمض الفوسفوريك ليعطى المركب ١, ٣ داي فوسفو حمض جلستريك.



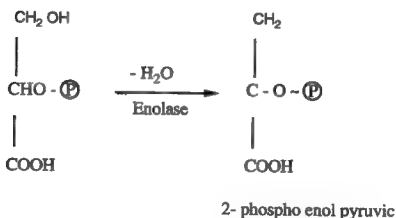
٩- المركب ١ ، ٣ داي فوسفو جلسريك مع ADP يعطى ATP وحمض ٣- فوسفو جلسريك وذلك في وجود الإنزيم تريوز فوسفات كينيز وذلك حسب المعادلة الآتية :



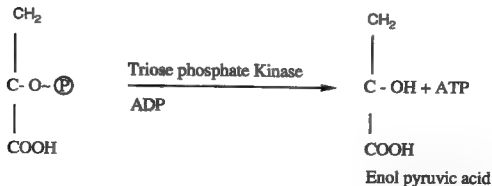
١٠- تحت تأثير فوسفو جلسرو ميوتيز يتحول ٣- فوسفو جلسرو إلى ٢ فوسفو جلسريك.



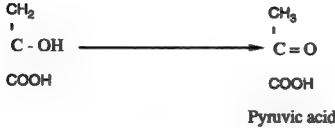
١١- تحت تأثير إنزيم Enolase يتحول المركب ٢- فوسفو جلسريك إلى المركب ٢- فوسفو إنيلول حمض بيروفيك ذو الطاقة العالية .



١٢- يتحول المركب ٢- فوسفو إنيلول حمض البيروفيك إلى حمض أنيلول بيروفيك وذلك في وجود ADP و إنزيم Triose phosphate Kinase .



١٣- والمركب إنيول حمض البيروفيك غير ثابت فيتحول إلى الصورة الثابتة وهي حمض البيروفيك.



ومن خلال دورة الجليكوليز ن نجد أن جزيئا واحدا جلكوز يعطى ٢ جزىء حمض بيروفيك وكمية الطاقة المنفردة من خلال تلك الدورة فى صورة عدد من جزيئات ATP هو جزيئان ATP، وكذلك عدد ٢ جزىء NADH_2 التى عند أكسدتهما يعطيان ستة جزيئات ATP حيث عند أكسدة جزىء واحد من NADH_2 يعطى ثلاث جزيئات، ATP عند أكسدة جزىء واحد جلكوز خلال دورة الجليكوليز حتى يعطى جزيئات من حمض البروفيك وهذه تعتبر أكسدة غير كاملة.

ونجد أن حامض البيروفيك الناتج فى ظروف الأكسدة الغير هوائية يتحول إلى مركبات كثيرة نذكر منها الآتى:

١- فى ظروف غير هوائية يتأكسد حمض البيروفيك معطيا أستالدهيد وغاز CO_2 وذلك فى وجود إنزيم Decarboxylase ديكاربوكسيلار.

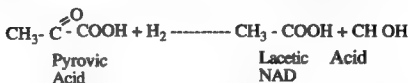


٢- يحدث اختزال للمركب الأستالدهيد فى وجود إنزيم الكحول ديهيدروجيناز ومراقبة NADH_2 فيعطى كحول الإيثانول.



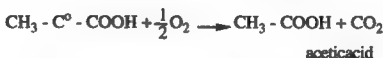
ولمجد أن الطاقة المتكونة من خلال عملية التخمر الكحولى عبارة عن جزئان فقط من ATP وعملية التخمر الكحولى تبدأ من الجلوكوز كما سبق فى دورة - الجليكوليزيز حتى يتكون حمض البيروفيك ثم أكسده إلى الأستالدهيد ثم اختزال الأستالدهيد إلى كحول الإيثانول بهذا، فعند أكسدة جزئيه واحد جلوكوز من خلال عملية التخمر الكحولى يتكون جزئان من كحول الإيثانول من ATP .

٣- تحت الظروف الغير الهوائية بالأنسجة الحيوانية يتحول حمض البيروفيك من خلال عملية التخمر اللبنى إلى حمض اللاكتيك . وذلك حسب المعادلة الآتية وذلك فى وجود إنزيم «Lactate dehydrogenase» .

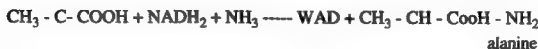


وكمية الطاقة الناتجة عند أكسدة جزئيه واحد جلوكوز فى ظروف غير هوائية من خلال عملية التخمر اللبنى هى عبارة عن جزئان ATP ، وذلك يتكون جزئان حمض اللاكتيك .

٤- وفى الظروف الهوائية يتأكسد حمض البيروفيك إلى حمض خليك وفلز CO_2 وهى أكسدة غير كاملة أيضا .



٥- يتحول حمض البيروفيك إلى أحماض أمينية وهو حمض الألنين حسب المعادلة الآتية:



٦- حمض البيروفيك يدخل فى تخليق الدهون حيث يتحول إلى أستالدهيد الذى يكون حمض خليك ومنه يتكون أستيل كوانزيم A والذى يكون الأحماض الدهنية الداخلة فى تكوين الدهون .

ويمكن أخذ فكرة بسيطة عن كمية الطاقة في صورة ATP خلال الأكسدة الغير كاملة للجلوكوز، وذلك من خلال العمليات المختلفة السابقة وهي التي تحدث في ظروف غير هوائية وهي:

(١) عملية الجليكوليز (أكسدة غير كاملة للجلوكوز في ظروف غير هوائية) جزئياً
واحد جلكوز يعطى

٢ جزئىء حمض بيروفيك

٢ جزئىء ATP

٢ جزئىء $NAD \cdot H_2$

(٢) عملية التخمر الكحولى (أكسدة غير كاملة للجلوكوز في ظروف غير هوائية)
جزئىء واحد جلكوز يعطى

٢ جزئىء كحول أثانول

٢ جزئىء ATP

(٣) عملية التخمر اللبنى (أكسدة غير كاملة للجلوكوز في ظروف غير هوائية)
جزئىء واحد جلكوز يعطى

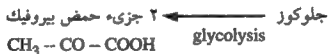
٢ جزئىء حمض لكتيك

٢ جزئىء ATP

ولكى يتأكسد حامض البيروفيك أكسدة كاملة إلى CO_2 والماء فيتم ذلك في ظروف التنفس الهوائية أو الأكسدة الهوائية، وذلك من خلال دورة تسمى بدورة حمض الستريك.

الأكسدة الهوائية، Aerobic Oxidation

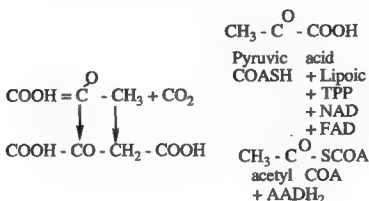
تتم أكسدة المواد الكربوهيدراتية هوائياً في وجود الأكسجين بخطوات مماثلة تماماً لما يحدث في الظروف الغير هوائية حتى يصل السكر إلى حمض بيروفيك.



وتتم الدورة كما يلي:

١- يتحول جزئىء من حمض البيروفيك إلى صورة الأميتات النشطة ويفقد CO_2 ويتم ذلك في وجود إنزيم Decarboxy - lase وكوانزيم TPP بيروفك إسترلوكسيديز

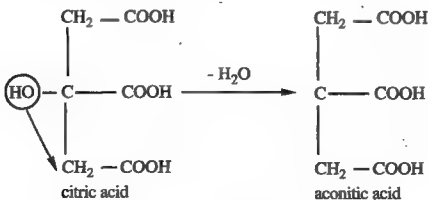
NAD والليبيك وكذلك مرافق الإنزيم FAD ويتحول الجزء الآخر من البيروفيك نتيجة اتحادها مع CO₂ الناتج من التفاعل السابق إلى حمض أوكسالواستيك «Oxaloacetic» وتتم التفاعلات كما يلي:



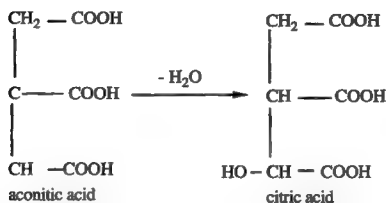
ملحوظة:

تعتبر دورة حمض الستريك هي الدورة الأساسية لأكسدة المركبات الكربوهيدراتية داخل الجسم، وإذا حدث خلل في ميتابوليزم الكربوهيدرات أو نقصت في الغذاء على حساب المواد الدهنية فإن الأسيتل كوا الناتج من أكسدة الأحماض الدهنية لا يدخل في دورة الستريك ولكنه يتحول إلى تكوين الأجسام الكيتونية، ولذلك فحتى مرضى البول السكرى ينصحون طبيًا بضرورة وجود كمية من الكربوهيدرات لكي تكون مصدرًا لحمض البيروفيك لكي يتكون منها الأوكسالواستيك «Oxaloacetic» حتى تتم الأكسدة عبر دورة حمض الستريك.

٢- يتحول حمض الستريك إلى حمض أكونتيك في وجود إنزيم aconitase .



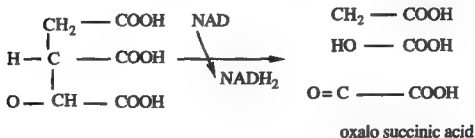
٣- يتحول حمض أكونتيك إلى سترك في وجود إنزيم aconitase أيضا .



يتكثف مركب $\text{CH}_3 - \text{C}(=\text{O}) - \text{SOOA}$ acetyl COA مع مركب أوكسالوأسيتك الناتجين من الخطوة رقم (١) ليتكون جزئى من حمض الستريك كما يلى :



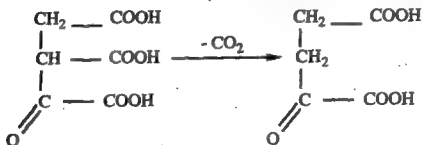
٤- يتأكسد حمض الستريك بترع أيدروجين وذلك في وجود إنزيم iso - citric dehydro - genase إلى حمض أوكسالوسكنيك، وذلك في وجود المرافق الإنزيمى NAD



التمثيل الديوى للطاقة فى المجال الرياضى

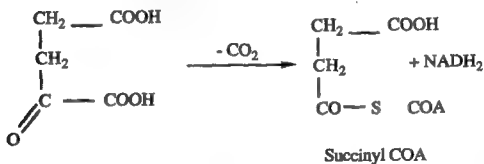
وبهذا تنفرد كمية من الطاقة نتيجة لأكسدة NADH_2 إلى NAD وانفراد ثلاث جزيئات ATP .

٥- يفقد حمض أكساليوسكسينيك غاز CO_2 وذلك في وجود إنزيم Decarboxy-lase ويتكون حمض - كيتوجلوتاريك، وهنا يفقد الجزء الثاني من CO_2 من حامض البيروفيك، وذلك حسب المعادلة الآتية:



- Keto glutaric acid

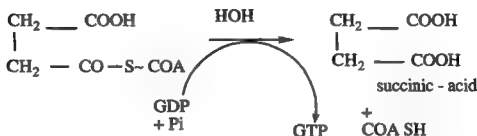
٦- يتحول حامض كيتوجلوتاريك إلى المركب سكينيل كوانزيم وذلك في وجود إنزيم decarboxylase وإنزيم $\text{Ketoglutaric oxidase}$ والمرافقات الإنزيمية Lipic , FAD فيتامين بيروفوسفات وإيون مغنسيوم والمركب كوانزيم CO-ASH .



وهذه الخطوة تشابه تماما ما يحدث في الخطوة رقم (١).

في هذه الخطوة يفقد الجزء الثالث من CO_2 من حامض البيروفيك، وفي هذه الخطوة تتم الأكسدة النهائية لحامض البيروفيك إلى ثلاث جزيئات CO_2 وفي هذه الخطوة يتكون جزء واحد من NADH_2 الذي يعطى عند أكسدته ثلاث جزيئات ATP .

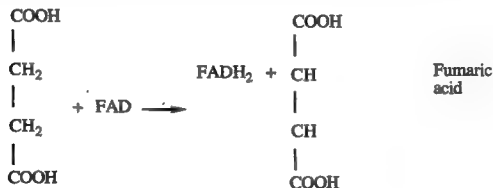
٧- يتحول المركب سكينيل كوانزيم A إلى حمض السكينيك وذلك بالتحويل المائي، وفي هذه الخطوة ينفرد جزء واحد ATP حيث كمية قليلة من الطاقة من مركب سكينيل كوانزيم A ذى الطاقة العالية التى تعمل على تكوين المركب GTP الذى يتحد مع ADP ويعطى جزئيا واحدا ATP



حيث إن المركب سكينيل كوانزيم A مركب ذو طاقة عالية وذلك حسب المعادلة الآتية:

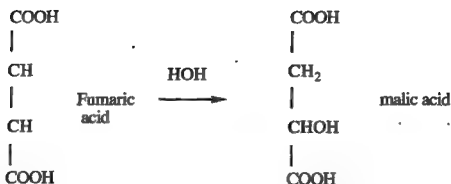


٨- يتأكسد حامض السكينيك وذلك بنزع ذرتين أيدهوجين ويتكون الفيوماريك وذلك فى وجود إنزيم Sucoinic Dehydrogenase مرافقة FAD وفى هذه الخطوة يتكون جزئان من ATP حيث عند أكسدة المرافق FADH₂ إلى FAD يعطى جزئان من ATP.

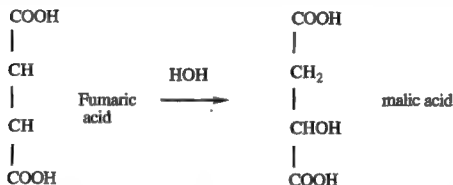


وبهذا من خلال الخطواتين ٨، ٩ يتكون ٣ جزئيات من ATP.

٩- يعطى حامض الفيوماريك مع الماء حامض ماليك وذلك فى وجود إنزيم Fumarasa.



١٠- يحدث أكسدة لحامض الماليك وذلك يفقد ذرتين إيدروجين واثنين إلكترون ويتكون حمض أكسالوخليك، وبهذا تتم دورة حمض الستريك وينفرد هذا التفاعل ٣- جزئيات ATP حيث يساعد ذلك التفاعل الإنزيم malic dehydrogenase ومرافقه NAD.



oxalo acetic acid

هذا الناتج يرتبط ثانية مع أستيل كواenzيم وهكذا تتكرر الدورة.

وبهذا فالطاقة الناتجة من خلال دورة كريس مقدارها خمسة عشر جزءا ATP، وبهذا فنجد من خلال تلك الدورة تتكون مجموعة من الأحماض العضوية ثنائي الكربوكسيل مثل الستريك - المالك - أكسالوخليك وكذلك ثلاثية الكربوكسيل مثل الستريك - أيزوستريك - حمض أوكوتينيك، ونجد للأحماض ثنائية الكربوكسيل أهمية كبيرة عند تحولها لبعضها البعض حيث تعتبر كموامل لنقل الأيدروجين أثناء عملية التنفس وتستخدم أيضا لتخليق الأحماض الأمينية.

ولكن في السنين الأخير أمكن اكتشاف طريق آخر لأكسدة الجلوكوز في ظروف هوائية خلاف دورة حمض الستريك وذلك عن طريق دورة البتوز فوسفات، ومن خلالها أيضا يتأكسد الجلوكوز في ظروف هوائية.

الفصل الخامس

الوظائف الحيوية للهورمونات



- مقدمة
- الفرق بين الهورمون والفيتامين
- تقسيم الهورمونات
- الهورمونات المشتقة من الأحماض الأمينية
- الأدرنالين والعمليات الحيوية بالجسم
- الثيروكسين والعمليات الحيوية بالجسم.
- الهورمونات البروتينية:
- الأنسولين والعمليات الحيوية بالجسم
- جارات الدرقية والعمليات الحيوية بالجسم
- هورمونات الجهاز الهضمي
- هورمونات الغدة النخامية
- الهورمونات الستيرويدية:
- الكورتيزول والعمليات الحيوية بالجسم
- الهورمونات الجنسية للذكر والأنثى
- الاستجابات الهورمونية للتدريب البدني
- السريعة - المعتدلة - البطيئة

الهورمونات : Hormones

المقدمة:

يلزم لاستمرار نمو الكائنات الحية علاوة على المواد الغذائية التي تمد الجسم بالطاقة مجموعة لا تقل أهمية عن هذه المواد، وتقوم هذه المجموعة بتنظيم النمو، وتعرف بمنظمات النمو Growth Buffers وتشمل الإنزيمات Enzymes والفيتامينات Vitamins والهورمونات Hormones.

ويرجع الأصل في كلمة هورمون إلى الكلمة اليونانية Hormad ومعناها النشاط أو الفعال، وهى تستخدم لوصف المواد الكيميائية التى تفرز من الغدد الصماء وتنقل خلال الأوعية الدموية إلى الأعضاء الأخرى لتنظيم نشاطها.

وعلى ذلك فالهورمون هو المادة العضوية التى تنتج طبيعياً والتي تحدث تأثيرات تنظيمية على الأيض (Metabolism) فى الكائن الحى، حيث يحتاج ذلك الكائن الحى منها إلى كميات قليلة جداً ويظهر تأثيرها بعيداً عن المكان الذى تكونت فيه.

إذن الجهاز الهورمونى فى جسم الإنسان يتكون من مجموعة من الغدد التى تصب إفرازاتها مباشرة فى الدم والتي تعرف بالهورمونات.

ومع أن كلا من الجهاز الهورمونى والعصبى يقومان بتنظيم معدلات النشاط الكيميائى لخلايا أنسجة الجسم المختلفة، إلا أن الجهاز العصبى يتميز بسرعة استجابته لأى اضطراب فى الاستقرار التجانسى لخلايا الجسم كتنجبة للتغيرات فى البيئة الخارجية أو التغيرات الانفعالية، لذلك يطلق عليه جهاز التحكم السريع، بينما يتميز الجهاز الهورمونى ببطء استجابته لأى اضطراب فى الاستقرار التجانسى لخلايا الجسم، إلا أن تأثيره يكون أعمق ويستمر لفترة أطول من الجهاز العصبى؛ لذلك يطلق عليه جهاز التحكم البطيء.

الفرق بين الهرمونات والفيتامين:

Difference Between Hormon and vitamin:

تتشارك الهرمونات والفيتامينات في أنهما يقومان بدور هام في تنظيم النمو، والتأثير في أعضاء الجسم، ولكن توجد بين كل منهما بعض الفروق نوجزها في التالي:

- ١- تُخَلَقُ الهرمونات في الجسم نفسه أما الفيتامينات فيعتمد الجسم في الحصول عليها من المصادر الغذائية المختلفة. باستثناء فيتامين K.
- ٢- بعض الهرمونات ذات طبيعة بروتينية، ولذلك فإنها إذا ما تتولدت عن طريق الفم فإنها تهضم بواسطة الإنزيمات الهاضمة، أما الفيتامينات فإنها لا تهضم بواسطة العصارة الهضمية.

تقسيم الهرمونات:

ليس هناك تقسيم قاطع للهرمونات، إلا أن بعض العلماء قسموها إلى مجموعتين على أساس فيسيولوجي أو تكويني أو تركيبى. ونعرض لنوعين من هذا التقسيم:

التقسيم الأول:

وهو يعتمد على الغدد التي تفرز الهرمون بجسم الإنسان وتتكون من:

- | | |
|--------------------------------|----------------------|
| ١- هرمونات الغدة الدرقية | Thyroid Hormones |
| ٢- هرمونات الغدة جارات الدرقية | Parathyroid Hormones |
| ٣- هرمونات الغدة النخامية | Pituitary Hormones |
| ٤- هرمونات الجهاز الهضمي | Digestive Hormones |
| ٥- هرمونات البنكرياس | Pancereas Hormones |
| ٦- هرمونات الغدة الكظرية | Adrenal Hormones |

Femal Hormones

٧- هورمونات الانثى

Mal Hormones

٨- هورمونات الذكر

ويرى البعض تقسيم الهرمونات حسب المواد التي تتكون منها أو التركيب الكيميائي لها، وهذا التقسيم يشتمل على:

١- الهرمونات المتكونة من أو المشتقة عن الأحماض الأمينية Amino acid Hormones.

٢- الهرمونات البروتينية الأصل Protein Hormones.

٣- الهرمونات الستيرويدية Steroide Hormones.

والتقسيم الأخير هو أقرب التقسيمات إلى دراستنا الكيميائية أو الأقرب إلى تناولنا في هذا الكتاب.

١- الهرمونات المشتقة عن الأحماض الأمينية:

أ- هورمون الأدرنالين Adrenalin Hormone

يفرز هذا الهرمون من الغدة الكظرية ومن الجزء الداخلي في النخاع Medulla، وهو أول هورمون أمكن عزله من الغدد الصماء عام ١٩٠٢ بواسطة العالمين (أبل وتاكامين Abel & Takmin) فقد تمكنا من رصد وإثبات رمزه الكيميائي على ضوء تفاعله وكذا عن طريقة تحضيره بالطرق التخليقية من بيتاهيدروكسي ٤,٣ ومن ثاني هيدروكسي فينيل إيثانيل أمين.

والتركيب الكيميائي له كالتالي:

أما النورادرينالين فله بعض الصفات الهورمونية، ولكنه أقل من الإدرينالين وإن كان أكثر أثرا على ضغط الدم الشرياني، وهو يتحول داخل الجسم إلى إدرينالين وذلك بإدخال مجموعة CH_3 .

ويتأكسد الإدرينالين في الوسط القلوي ويكون أكثر قابلية للاكسدة في الضوء حيث يتحول إلى صبغة الميلامين، كما أنه يستخلص من المحلول المائى الناقن للغدة الكظرية ويرسب البروتين بالكحول والنشادر.

الإدرينالين والعمليات الحيوية بالجسم:

يلعب هورمون الإدرينالين دورا هاما في عمليات التمثيل الغذائى للمواد الكربوهيدراتية فهو يساعد في عملية تحول الجليكوجين إلى جلوكوز في الكبد (Glycogenolysis) حيث إنه يعمل على تنشيط إنزيم فوسفوريلاز (Phosphorylase) اللازم لهذه العملية، كما يعمل على تحليل الجليكوجين في العضلات إلى حمض البيروفيك واللاكتيك (Glycolysis).

ويقوم بدور هام فى تنشيط الفص الأمامى للغدة النخامية لكى تفرز هورمون (ACTH) الذى يعمل على زيادة هورمون Adrenal Corticoids الذى يعمل على زيادة تحلل الجليكوجين إلى جلوكوز، أى أنه يعمل على زيادة السكر فى الدم بطريق مباشر وغير مباشر، ولهذا يعتبر من أكثر الهورمونات التى تضاد فعل الانسولين.

كما يعمل هورمون الإدرينالين على زيادة ضغط الدم عن طريق أنه يزيد من انقباض الأوعية الدموية.

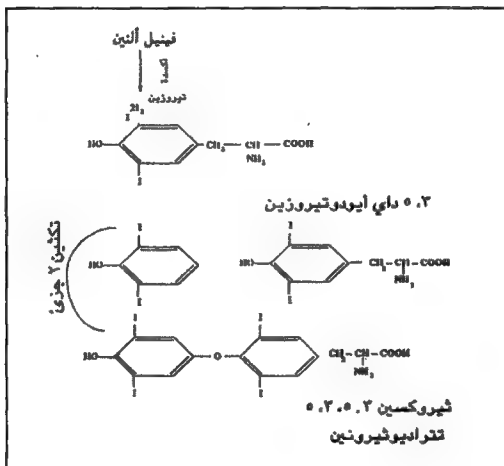
وعلى الرغم من ذلك فإن الهورمون إذا ما توقف إفرازه فى الجسم فإنه لا يودى إلى الوفاة.

ب- هورمون الثيروكسين : Thyroxine Hormone

يفرز من الغدة الدرقية، التى تتكون من فصين على جانبي الحنجرة، بوزن حوالى ١٥ جم تحتوى على ١٠ جم يود، وينظم هورمون الغدة الدرقية سرعة التمثيل الغذائى فى الجسم.

ويلعب هورمون الغدة دورا كبيرا فى نمو الإنسان، ويتعرض الأفراد المصابون بنقص الهورمون إلى الأمراض التى غالبا ما تكون عبارة عن البله والقصر والخمول.

وهورمون الغدة الدرقية متعدد الأنواع، ويوجد منه ثلاثي أيودوثيرونين Triiodothyronine ويرمز له بالرمز T3 والثيروكسين (Thyroxine) ويرمز له بالرمز T4، وكذلك تترادايو ثيرونين Titradio Thyronine ويرمز له بالرمز T5 والشكل التالي يوضح ذلك.



شكل (٩) التركيب الكيميائي للثيروكسين

تضخم الغدة الدرقية،

يعتبر تضخم الغدة الدرقية من بين الأمراض التي تصيب الإنسان ويعرف باسم مرض الجويتر Goter، وقد يكون هذا التضخم متوسطا أو شديدا. ويؤدي هذا التضخم إلى نقص في إفراز اليود من الغدة، لأن نقص اليود يؤدي

إلى نقص تركيز الهورمون، وهذا يؤدي إلى تنبيه الغدة النخامية التي تساعد على تنبيه الغدة الدرقية وتزداد في الحجم.

ونتيجة زيادة نشاط الغدة وزيادة حجمها، يخرج اليود مع البول وتزداد نسبته في الدم وتظهر أعراض المرض على الإنسان.

ولعلاج مثل هذه الحالة يتم استئصال جزء من الغدة أو إزالتها كاملة ويتعاطى الفرد بعد ذلك الهورمون في صورة حقن أو حبوب مدة حياته كلها.

ويتراوح مستوى الهورمون في الدم لدى الفرد العادى من ٤-١١ ميكرو جرام، كما يتميز كل من T3، T4 مع جلوبيولين الدم Globulin ليكونا ثيروجلوبيولين Thyroglobulin ليختزن بالغدة الدرقية لحين احتياج الجسم إليه فينقسم مرة ثانية إلى T3، T4 في الدم.

الثيروكسين والعمليات الحيوية بالجسم،

١- يزيد الثيروكسين من سرعة التمثيل الغذائي في الجسم ما عدا الغدة الدرقية نفسها.

٢- إذا أعطى بتركيزات فسيولوجية عالية يعمل على زيادة البناء البروتينى لخلايا أنسجة الجسم.

٣- إذا نقص يؤدي إلى القصر والضعف.

٤- يتحكم في إنتاج الأنسولين.

٥- يعمل على زيادة امتصاص الجلوكوز في الأمعاء.

٦- يساعد على تحلل الجليكوجين إلى جلوكوز مما يزيد من نسبته في الدم.

٧- زيادته تساعد على أكسدة الأحماض الدهنية مما يزيد من نسبة الأحماض الكيتونية في الدم والبول.

٨- يلعب دورا هاما في تمثيل الماء بالجسم.

٩- له تأثير هام على الجهاز الدورى حيث يعمل على زيادة معدل ضربات القلب والدفع القلى في الدقيقة.

١٠- يعمل على زيادة كمية الاكسجين المستهلك في الدقيقة.

١١- له تأثير هام على النمو، ونقصه في مراحل العمر الأولى يؤدي إلى نقص في حجم الجسم والطول ويؤدي إلى التخلف العقلي، وتضخمها يؤدي إلى جحوظ العينين وتعممة الشعر.

١٢- زيادته تساعد على زيادة عمليات الهدم وله دور كبير على النشاط الإنزيمى بالجسم.

١٣- عندما يكون في معدله الطبيعي يلعب دورا حيويا في توازن النمو العضلى. ومن المركبات المضادة للثيروكسين (تيوثونات البوتاسيوم) وهذه المادة تعمل على عدم تثبيت اليود غير العضوى في الغدة.

٢- الهورمونات البروتينية Protein Hormones

أ- هورمون البنكرياس، Pancereas Hormone

البنكرياس غدة مستطيلة الشكل تقع أسفل المعدة بين الطحال والاثنى عشر (أعلى يسار البطن) ويفرز البنكرياس مجموعة كبيرة من الإنزيمات والهورمونات.

والهورمونات التى يفرزها البنكرياس هى:

١- الأنسولين Insulin ويفرز من الخلايا بيتا فى جزر لانجرهانز Langerhans.

٢- الجلوكاجون Glucagon ويفرز من الخلايا ألفا من نفس الجزر.

وهذين الهرمونين لهما دور بارز فى تمثيل الكربوهيدات.

تكوين الأنسولين:

يتكون من سلسلتين ببتيديتين ترتبطان برابطة ثنائية الكبريت، ويفقد أهميته الفسيولوجية بالتحليل المائى أو بالهضم؛ لذلك لا يعطى عن طريق الفم لمرضى البول السكرى.

إفراز الأنسولين:

ينظم إفراز الأنسولين بواسطة تركيز السكر فى الدم، فإذا زاد تركيز السكر فإنه يسبب زيادة إفراز الأنسولين والعكس صحيح.

وتجدر الإشارة إلى أن هورمون الجلوكاجون يعمل مضادا لهورمون الأنسولين

وليس وحده ولكن باقى مجموعة الهرمونات بالجسم تعمل فى اتجاه معاكس لعمل الأنسولين.

الأنسولين والعمليات الحيوية بالجسم:

- ١- يعمل الأنسولين على زيادة تمثيل الجلوكوز بالدم.
- ٢- يزيد من مخزون الجليكوجين بالأنسجة العضلية.
- ٣- يزيد من انتقال الجلوكوز إلى خلايا الأنسجة العضلية.
- ٤- له تأثير مباشر على نشاط غشاء الخلايا.
- ٥- زيادة كمية الأنسولين تزيد من كمية الجلوكوز الداخلة للخلايا.
- ٦- يساعد الأنسولين على تخزين الدهون.
- ٧- نقص الأنسولين يزيد من تحول الجلوكوز من مصادر غير كربوهيدراتية.
- ٨- نقص الأنسولين يفقد الفرد الطاقة الحيوية نتيجة عدم استفادة الجسم من الجلوكوز.
- ٩- نقص الأنسولين يؤدي إلى فقد الفرد لوزنه الطبيعي.
- ١٠- يعمل الأنسولين على تخزين الدهون ويساعد على انتقالها للدم فى صورة أحماض دهنية حرة FFA.
- ١١- قد تصل زيادة الدهون إلى خمسة أضعاف معدلها الطبيعي.
- ١٢- يزداد كولسترول الدم كلما نقص الأنسولين.
- ١٣- قد يساعد ذلك على مرض تصلب الشرايين.
- ١٤- قد يعطى للأفراد النحاف بهدف زيادة الوزن.

أظهرت الدراسات العلمية التى تمت داخل وخارج جسم الإنسان أن هناك العديد من التأثيرات التى تسبب إفراز البنكرياس للأنسولين، مثل زيادة تركيز الجلوكوز بالدم، هورمونات الملعلة والأمعاء (جسترين، ساكترين)، هورمونات النمو (الثيروكسين)، هورمونات البنكرياس (جلوكاجون)، هورمونات الغدة الكظرية (كورتيزول - أدرينالين)، بعض الأحماض الأمينية مثل (الليوسين، الاليسين، الأرجين) العصب الباراسمبثاوى بينما هورمون الكيتوكولامين يمنع تحرر الأنسولين من البنكرياس.

ب- هورمون جارات الدرقية، Parathyroid Hormone

الغدد جارات أو مجاورات الغدة الدرقية يبلغ عددها أربع غدد، تقع على السطح العلوى للغدة الدرقية، وزنها جميعا يبلغ من ٠.٥ و ٠.٠ و ٣ جرام. ويستخلص الهورمون بالتحليل المائى الحمضى ويذوب فى الماء والكحول والمحلول الملحى ولا يذوب فى مذيبيات الدهون.

كيف يعمل الهورمون؟

يقبل من إعادة امتصاص الأنايب الكلوية للفوسفات والكالسيوم غير العضوى، وبذلك يعمل على زيادة فقدته فى البول مما يقلل من تركيزه فى الدم، وهو أيضا يساعد على طرد الكالسيوم والفوسفور من العظم مما يؤدى إلى هشاشة العظام.

تنظيم إفراز الهورمون؟

لا يوجد له منظم هورمونى ولكن يبدو أن تركيز الكالسيوم هو الذى ينظم إفراز الهورمون، فإذا انخفض تركيز الكالسيوم فى الدم فإنه ينشط إفراز الهورمون والعكس صحيح.

وهو يلعب دورا حيويا فى التمثيل الغذائى الحيوى للكالسيوم والفوسفور ويؤثر أيضا على كفاءة الجهاز العصبى.

الهورمون والعمليات الحيوية بالجسم:

- ١- نقص إفرازه يؤدى إلى انخفاض إخراج الفوسفور فى البول.
- ٢- نقص إفرازه يؤدى إلى ارتفاع الفوسفور فى الدم.
- ٣- نقص إفرازه يؤدى إلى انخفاض إخراج الكالسيوم فى البول.
- ٤- نقص إفرازه يؤدى إلى انخفاض تركيز الكالسيوم فى الدم.
- ٥- نقص إفرازه يؤدى إلى انخفاض تركيز الكالسيوم فى السائل الخلوى.
- ٦- نقص إفرازه يؤدى إلى زيادة الهياج العصبى العضلى مما يؤدى إلى التشنج والتقلص العضلى.

- ٧- نقص إفرازه يؤدي إلى ضعف النمو الطبيعي للجسم وضعف القوة العضلية .
- ٨- زيادة النقص تؤدي إلى تكوين أنسجة مخاطية تحت الجلد .
- ٩- زيادة إفراز الهورمون تؤدي إلى تضخم الغدة وجحوظ العينين .
- ١٠- زيادة إفراز الهورمون تؤدي إلى زيادة سرعة ضربات القلب وعدم انتظام الدفع القلبي .

ج- هورمون الجهاز الهضمي Digestive Hormone

توجد هورمونات الجهاز الهضمي في الغشاء المخاطي البطني للأمعاء والمعدة وتنظم هذه الهورمونات إفراز الغدد الهضمية وهذه الهورمونات هي:

١- السكريتين، Secretin

هورمون معوي يحث البنكرياس والكبد على الإفراز نتيجة التأثير الملحي للصفرأ والأحماض الدهنية في الجزء العلوي من الأمعاء وهو يعمل على تنظيم إفراز البنكرياس .

٢- سيستوكيتين، Cystokitin

هورمون معوي يفرز نتيجة التنبيه بواسطة الأحماض الدهنية ويؤدي إلى إخراج محتويات الحويصلة الصفراوية وهو غير فعال بواسطة إنزيم يوجد بالدم .

٣- پتكرياتين، Pancreatin

هورمون يفرز من خـمائر العصارة المعوية وهو ينشط البنكرياس لإفراز الإنزيمات مثل إنزيم الأميلار والليباز .

٤- إنتروغاسترون، Entrogastron

يفرز من المعدة وهو يعمل على تنشيط التحركات الذاتية للمعدة ويمنع أو يبطئ حموضة المعدة .

٥- جاسترين، Gastrin

يتكون بواسطة الغشاء المخاطي لفتحة البواب بالمعدة نتيجة تمدد المعدة عند امتلائها بالطعام، وعندما يصل هذا الهورمون إلى مجرى الدم فإنه يستحث إفراز حمض الهيدروكلوريك، ومن المعتقد أن له أهمية في إفراز العصارة المعدية .

د- هورمونات الغدة النخامية، Pituitary Hormones

الغدة النخامية عبارة عن جزء صغير لا يزيد حجمه عن سلاسية إصبع البنصر، وتقع عند قاعدة الجمجمة، ولها وظائف متعددة وتنقسم إلى ثلاثة فصوص. أهمها الفص الأمامى الذى يفرز هورمونات تتحكم فى إفراز ونشاط باقى الغدد الصماء.

أ- هورمونات الفص الأمامى Anterior Hormone

إذا حدث وأزيل الفص الأمامى من الغدة النخامية يتوقف نشاط إفراز الغدة الدرقية وقشرة الغدة الكظرية والغدد التناسلية ويفقد الإنسان وزنه ويتوقف نموه الطولى، ويحدث انخفاض فى التمثيل الغذائى.

ويفرز الفص الأمامى الهورمونات التالية:

١- هورمون الثيروتروفين Thyrotrophin Hormone

وهو الهورمون الذى ينظم إفراز الغدة الدرقية، ونقصه يسبب ضمورها وبالتالى لا تودى وظائفها الطبيعية، أما فى حالة زيادة الهورمون فإن الغدة الدرقية تزداد فى الطول وتضخم وتزيد إفرازاتها.

٢- هورمون الأدينوتيكوتروفين Adenotrophin. H.

وهو من البروتينات التى أمكن معرفة نوع الأحماض الأمينية المكونة لها، وأمكن الحصول منها بالتحليل المائى الجزئى على بيتيدات احتفظت بنشاط الهورمون. ونقص هذا الهورمون يسبب ضمورا فى القشرة الكظرية مما يؤدى إلى نقص فى إفرازاتها بدرجة تجعلها غير كافية لحاجة الجسم.

٣- هورمون جوناوتروفين Gonadotrophin. H.

ويعرف بالهورمون التناسلى وفى حالة نقصه تضمر الخصية لدى الذكر، ويضمحل المبيض لدى الأنثى. وإذا نقص الهورمون فى الأطفال قبل وصولهم سن البلوغ لا يكتمل لديهم نمو الجهاز التناسلى.

ويوجد هذا الهورمون على صورتين:

الأول: الهرمون المسئول عن نشاط نمو الأجهزة التناسلية لدى الذكر والأنثى ويسمى Folicle Stimulation.H حيث إنه يساعد على إفراز الحيوانات المنوية من الخصية وإفرازات المبيض ونمو البويضة في الأنثى.

الثاني: الهرمون المسئول عن نشاط إفراز الهرمونات الجنسية من الخصية ويسمى Luteinizing.H وينشط هورمون البروجسترون، وكذلك نمو الجسم الأصغر في مبيض الأنثى، كما يتابع هذا الهرمون نضج البويضة ونموها بعد إخصابها.

٤- هورمون النمو Growth Horomon

وهو المسئول عن عمليات النمو، أى أن نقصه يسبب نقص النمو، وهو السبب في الإنسان القزم، كما أن زيادة إفرازه يؤدي إلى الإنسان العملاق.

ب- هورمونات الفص الخلفى ، Posterior Horomon

يفرز الفص الخلفى ثلاثة من الهرمونات الببتيدية العديدة وهي:

الأول: (بتريسين H. Petrisine) ويعمل على ارتفاع ضغط الدم وينظم سوائل الجسم ونقصه يؤدي إلى زيادة في إدرار البول.

الثاني: (بيتوسين H. Pitosine) ويعمل على انقباض وتقلص الرحم وهو يساعد النساء الحوامل واللاتى في حالة الوضع من إتمام الوضع (مسرع للولادة).

الثالث: (ADH) ويسمى هورمون مضاد التبول، وارتفاعه يحافظ على ماء الجسم للإبقاء على ثبات حجم البلازما.

ج- هورمونات الفص المتوسط Medium Hormon

وهو المسئول عن إدرار اللبن لدى النساء عقب عملية الوضع، ويستمر في عملية إدرار اللبن لدى الأم المرضع ويتوقف نشاطه عقب الحمل.

٣- الهرمونات الستيرويدية Steroid Hormones

تشتمل الهرمونات الستيرويدية على إفرازات غدة قشرة الغدة الكظرية وهورمونات الجنس التى تفرز من الخصية في الذكر والمبيض في الأنثى.

أ- هورمون قشرة الغدة الكظرية Adrenal Cortex. H.

تفرز قشرة الغدة الكظرية عددا من الهرمونات الضرورية للحياة، ويطلق على إفرازات هذه القشرة تعبير Cortun ويبلغ عدد هذه الهرمونات حوالي ٣٠ هورمون، وتمكن العلماء من التعرف على خواص كل منها، ويتأثر جسم الإنسان بالفاعلية الهرمونية لهذه الهرمونات وخاصة هورمون الكورتيزول (Cortisol) الذى يبلغ معدل إفرازه فى الجسم صباحا من ٥-٢٥ ميكروجرام / ١٠٠ مليلتر دم، وينخفض فى الماء ليصل إلى ٢-١٢ ميكروجرام / ١٠٠ مليلتر دم.

الكورتيزول والعمليات الحيوية بالجسم:

- ١- ينظم تكوين الجليكوجين بالجسم.
- ٢- يزيد من الأنزيمات التى تساعد على تحويل الأحماض الأمينية إلى جلوكوز.
- ٣- يزيد من تركيز الجلوكور فى الدم.
- ٤- تنظيم توزيع الصوديوم والبوتاسيوم فى الجسم.
- ٥- نقص الهرمون يؤدي إلى فقد الصوديوم والبوتاسيوم مما يؤدي إلى زيادة فقد الماء من الكليتين.
- ٦- يخفف من الإحساس بالألم فى حالة تعاطيه فى صورة حقن لعلاج بعض الأمراض.

ب- الهرمونات الجنسية Sex Hormones

هى الهرمونات التى تفرزها الخصية لدى الذكر والمبيضين لدى الأنثى.

- هورمونات الذكر, Male Hormones

تفرز هذه الهرمونات من الخصيتين، وخاصة الحيوانات المنوية Sperms، وتعمل هذه الهرمونات على أن تقوم الأعضاء التناسلية فى الذكر بوظائفها، حيث تعمل على حفظ الصفات الأولية الجنسية Primary Sexual مثل تكوين الحيوانات المنوية Sperms والمحافظة عليها وعلى ظهور الصفات الثانوية للجنس مثل ظهور الشعر وخشونة الصوت عند سن البلوغ.

ومن بين هورمونات الذكورة ما يأتى:

-التستوسترون، Testosterone

وهو أقوى هورمونات الذكورة، ويتكون فى الخصية عن طريق تنشيط هورمون الفص الأمامى للغدة النخامية TCSH وتخرج هذه الهورمونات فى صورة (جليكويزات Glycosisat) وكبريتات، ويعمل هورمون التستوسترون على نمو العضلات والعظام لدى الذكور.

- هورمونات الأنثى، Female Hormones

تفرز هورمونات الأنثى من المبيض حيث إنه الغدة الرئيسية التناسلية للأنثى عند البلوغ، حيث تقوم الغدة النخامية بفصها الأمامى بإفراز هذه الهورمونات والتي تساعد على نضج المبيض، ويعتبر هورمون الإستروجين Estrogin والبروجسترون Progesteron، وهورمون الاستراديول أهم الهورمونات الأنثوية.

* هورمون الإستروجين Estrogin Hormone

* هورمون البروجسترون Progesteron Hormone

يفرزان من الجسم الأصفر فى المبيض، ويعملان على مساعدة الأنثى فى ظهور الصفات الأنثوية عند سن البلوغ، ويتأثران بإفرازات الفص الأمامى للغدة النخامية، ويعملان أيضا على تنظيم دورة الطمث لدى الأنثى، كذلك يساعد الإستروجين على ترسيب الدهون وتوزيعها فى جسم الفتاة.

الاستجابات الهورمونية للتدريب البدنى،

Hormones Responses To Exercise

يعمل التدريب البدنى على زيادة إطلاق الطاقة اللازمة للنشاط البدنى الذى يقوم به الفرد، وذلك للوفاء باحتياجات العضلات الإرادية نتيجة انقباض تلك العضلات، وتحتاج معظم أجهزة الجسم إلى تلك الطاقة خاصة الجهاز العصبى.

وتسمى الهورمونات التى تقوم بعملية تعبئة الطاقة أثناء النشاط البدنى بهورمونات الضغط Stress Hormones، وتشتمل على هورمونات الكاتيكولامين والجلوكاجون. والكورتيزول وغيرها وتسمى أيضا هورمونات التضاد لتأثير الأنولين.

وتنقسم الاستجابات إلى ثلاثة أنواع:

استجابات سريعة : Fast Responses

مثل الزيادة السريعة في تركيز هورمون كاتيكولامين والزيادة في تركيز الكورتيزول (والأنسولين) وتتم هذه الاستجابات في بداية المجهود العضلي.

استجابات معتدلة Responses of Modest Rat

وذلك مثل ارتفاع مستوى تركيز الثيوركسين وهورمون النمو وهورمون مضاد الإزالة (ADH) «التبول».

استجابات متأخرة Responses Delayed

وذلك مثل ارتفاع مستوى تركيز هورمون الدوستيرون وتستوسترون وسوماتروبين وكليستونين، وتشير نتائج معظم الدراسات إلى أن الاستجابات الهرمونية تعتمد على شدة ودوام التدريب البدني المستخدم، فالاستجابات السريعة تكون أكثر حساسية لشدة التدريب، بينما الاستجابات المتأخرة تعتمد على فترة دوام التدريب بصورة أكبر من شدته. مثال ذلك: استجابة هورمون الكورتيزول للمجهود البدني الذي يعادل من ٥٠-٧٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، لذلك فإن دوام التدريب لفترة أطول يسبب زيادة في مستوى الكورتيزول حتى لو كانت شدته متوسطة.

جدول (٦) الاستجابات الهرمونية للتدريب البدني

الهورمون	نوع الاستجابة	التأثير	النتيجة
كاتيكولامين	سريعة	ارتفاع	زيادة جلوكوز الدم
الكورتيزول	سريعة	ارتفاع	تكوين جليكوجين في الكبد
الأنسولين	سريعة	انخفاض	خفض استهلاك الجلوكوز
هورمون النمو	معتدلة	ارتفاع	المحافظة على جلوكوز الدم ونمو العضلات
الثيوركسين	معتدلة	ارتفاع	زيادة إنتاج الطاقة
هورمون مضاد الإزالة	معتدلة	ارتفاع	الحفاظ على الصوديوم لثبات حجم البلازما
تستوسترون	متأخرة	ارتفاع	نمو العضلات وتطورها
سوماتروبين	متأخرة	ارتفاع	نمو العظام
كليستونين	متأخرة	ارتفاع	نمو العظام

ولقد عكست البحوث والدراسات التي أجريت في هذا المجال عن مدى ما يستأثر به جهاز الغدد الصماء من اهتمام الباحثين، وبخاصة في مجال الكشف عن تأثير الجهد البدني على التركيز الهورموني في الدم، وفي هذا الصدد توصل الباحثون إلى نتائج مختلفة حيث انتهى كل من «شيفرد Shephard ١٩٧١»، «فيو Few ١٩٧٤»، «جبريلا ومارجرتيف Gabriella and Margurtif ١٩٧٥» إلى وجود علاقة ارتباط طردى بين درجة تركيز الكورتيزول في الدم والجهد البدني بأنواعه المختلفة، بينما أظهرت نتائج «بونين Bonen ١٩٧٦» عدم وجود زيادة في تركيز الكورتيزول عند استخدام الشدة المتوسطة.

كما أشارت نتائج «كارليس وآخريين Caralis, et al ١٩٧٧» إلى انخفاض دال في تركيز T3 عند الجهد البدني مرتفع الشدة، هذا في الوقت الذي أثبت فيه «روفسوم Rofsume ١٩٧٩»، «ميتيفر Metivier ١٩٨١» حدوث زيادة دالة في تركيز ثلاثي أيودو ثيرونين T3 عند الجهد البدني مرتفع الشدة.

كما تشير نتائج «كارل وآخريين Carl, et al ١٩٨٣» إلى أن تركيز هورمون الكورتيزول في الدم والبول يزداد عند استخدام الجهد البدني عالى الشدة. كما أوضحت نتائج «محمد على ١٩٨٧» عدم وجود زيادة دالة بعد الجهد البدني منخفض الشدة أو متوسط الشدة.

ومن البدهي أن تكون قد بذلت محاولات سابقة لدراسة تأثير أنواع الجهد البدني على تركيز الهورمونات في الدم، نعرض بعضها منها:

• في دراسة أجراها «شيفرد Shephard ١٩٧١» تبين أن التمرين البدني الخفيف والمتوسط الشدة ليس له تأثير ثابت على مستوى الكورتيزول، بينما يؤدي التمرين البدني الشديد ذو فترة الدوام الطويلة أو المرتبط بضغط المنافسات إلى زيادة في مستوى الكورتيزول بالدم.

• هذا في الوقت الذي أشار فيه «بونين Bonen ١٩٧٦» إلى أنه من الصعب تحديد الحد الأدنى لشدة التمرين التي عندها تحدث زيادة في مستوى الكورتيزول ولكن وجد أن معدل إفراز الكورتيزول في البول يرتبط ارتباطا طرديا مع الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، وقد استخدم أنواعا مختلفة من الشدة في دراسته لمعرفة تأثيرها

على مقدار الكورتيزول في الدم وبلغت نسبته بين ١٢، ١٧-١٦، ١٨٪ عند ٨٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، كما أظهرت نتائج دراسته عدم وجود أى تغيير فى تركيز الكورتيزول عند استخدام الحمل البدنى الخفيف، ويضيف أن تركيز الكورتيزول يصل إلى أعلى مقدار له عند أداء تمرين بدنى شديد ومستمر لفترة من ١٠-٣٠ دقيقة.

وتشير نتائج رضوان محمد رضوان ١٩٨٥ إلى وجود زيادة معنوية فى تركيز هورمون الثيوركسين T4 لدى الرياضيين عنها فى غير الرياضيين أثناء الراحة، كما حدثت زيادة دالة معنوية فى تركيز هورمون T3، T4 بعد الجهد البدنى.

وأظهرت نتائج محمد على أحمد ١٩٨٧ أن هورمون الكورتيزول يزداد معنوية بعد الجهد البدنى مرتفع الشدة، فى حين أن الجهد البدنى خفيف الشدة لم يؤد إلى تغيرات فى تركيز الكورتيزول بالدم.

وتشير نتائج مدوح حسين ١٩٨٨ أنه توجد فروق ذات دلالة معنوية فى تركيز هورموني T3، T4 عقب أداء التمرينات الهوائية والتمرينات اللاهوائية، كما أن هورمون الكورتيزول يزداد زيادة دالة معنوية عقب أداء التمرينات الهوائية بنسبة قدرها ٧٠٪ فى حين بلغت الزيادة بعد أداء التمرينات اللاهوائية ١٠٠٪.

وتشير نتائج بهاء سلامة ١٩٩١ إلى:

(١) حدثت زيادة دالة معنوية فى تركيز هورمون الكورتيزول عند الراحة ونتيجة العمل البدنى الهوائى وعند الراحة ونتيجة العمل البدنى اللاهوائى حيث بلغت نسبة الزيادة نتيجة العمل البدنى الهوائى ٣٣ و ٤٩٪ فى حين ارتفعت الزيادة نتيجة العمل البدنى اللاهوائى لتصبح ٤٧ و ١٨١٪.

(٢) حدثت زيادة دالة معنوية فى تركيز هورمون T3 عند الراحة ونتيجة العمل البدنى الهوائى وعند الراحة ونتيجة العمل البدنى اللاهوائى حيث بلغت نسبة الزيادة نتيجة العمل البدنى الهوائى ٤٠ و ٣١٪، ثم انخفضت نتيجة العمل البدنى اللاهوائى حيث بلغت ٨٨ و ١٠٪.

(٣) حدثت زيادة دالة معنوية فى تركيز هورمون T4 عند الراحة ونتيجة العمل البدنى الهوائى والعمل البدنى اللاهوائى حيث بلغت نسبة الزيادة نتيجة

العمل البدنى الهوائى ٣٣ و ٣٦٪ ثم انخفضت نتيجة العمل البدنى
اللاهوائى لتصبح ٥٧ و ١٣٪.

من نتائج تلك الدراسات يتبين أن هناك اختلافات فى بعض النتائج حيث تشير
بعض نتائج الدراسات إلى زيادة فى تركيز الكورتيزول بعد الجهد البدنى الخفيف أو
المتوسط الشدة، بينما بعض النتائج تشير إلى نقص تركيز الكورتيزول مع نفس الشدة
السابقة، ونتائج أخرى تشير إلى عدم وجود تغيرات، ومع ذلك فهناك شبه اتفاق بين
معظم النتائج على أن تركيز الكورتيزول فى الدم يزداد فى حالة استخدام الجهد البدنى
الشديد ذى فترة الدوام الطويلة.



الفصل السادس

الوظائف الحيوية للإنزيمات



- مقدمة
- تقسيم الإنزيمات
- المؤكسدة
- الناقلة
- المحللة
- النازعة
- المحولة
- الرابطة
- المرافقات الإنزيمية والمجموعات المرتبطة
- الإنزيمات المساعدة الناقلة للهيدروجين
- الإنزيمات المساعدة الناقلة لمجموعة تحتوى على ذرة كربون
- الإنزيمات المساعدة الناقلة للأسيل
- الإنزيمات المساعدة الناقلة للفوسفات
- المجموعات المرتبطة
- مجموعة الغلافين
- فوسفات البيريديوكسيل
- ثيامين بيروفوسفات
- الإنزيمات الهضمية

* * *

الإنزيمات Enzymes

المقدمة،

تعرف الإنزيمات بأنها تلك المواد البروتينية ذات الخاصية المنفردة والتي توجد في صورة أو حالة غروية وتقوم بدور العامل المساعد في جميع التفاعلات الحيوية التي تتم داخل جسم الإنسان.

ويلاحظ على سبيل المثال أن أكسدة الأحماض الدهنية خارج جسم الإنسان (في أنبوبة اختبار) تحتاج إلى حموضة وحرارة مرتفعة، وكذلك تحتاج إلى عوامل كيميائية مساعدة.

أما في جسم الإنسان، ولكي تتم نفس هذه التفاعلات بنفس السرعة، كان لابد من وجود مجموعة من العوامل المساعدة والتي تعرف بالإنزيمات.

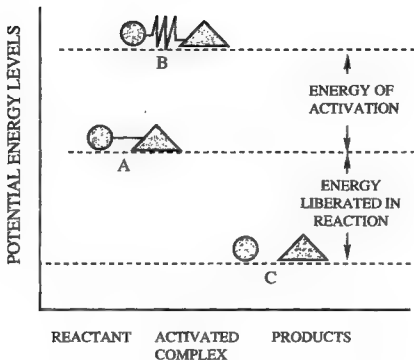
ويلاحظ أيضا أن سكر اللكتوز، لا يتحلل عند درجة حرارة الجسم إلا إذا أضيف إليه إنزيم خاص يسمى إنزيم اللاكتيز حيث يتحلل بسرعة كبيرة إلى السكريات الأحادية (جلوكوز + فركتوز).



وتقوم الأحماض بنفس عمليات التحلل ولكن بسرعة أقل كثيرا من الإنزيمات.

ويمكن فهم دور العوامل المساعدة (الإنزيمات) في التفاعلات المختلفة من الشكل

التالي:



شكل (١٠) الإنزيمات كموامل مساعدة في التفاعلات

يمثل حرف A جزء مادة متفاعلة، تعطي في نهاية التفاعل الناتج C. ويتضح من الشكل أن مستوى الطاقة الحرة للمادة المتفاعلة أكبر من مستوى الطاقة الحرة لنواتج التفاعل.

وهذا يشير إلى أن هذا التفاعل يصاحبه انطلاق كمية كبيرة من الطاقة نتيجة انشقاق الرابطة في الجزء A.

ولكى يتم هذا التحول، يتحول أولا الجزء A إلى الجزء B النشط الذي يحتوى على مستوى من الطاقة أكبر من A، مما يشير إلى أن الجزء A يكتسب كمية من الطاقة تعرف بطاقة التنشيط، ويتم هذا التحول ويصل إلى الحالة النشطة التي عندها تنجز إلى النواتج C.

وعند إضافة أى عامل مساعد على هذا التفاعل فإنه يعمل على سرعة وصول المركب A إلى الصورة النشطة B ؛ نظرا لأنه يعمل على تخفيض الطاقة اللازمة لهذا التحول.

ويتضح من الشكل أيضا أنه من الممكن أن ترتبط نواتج التفاعل C وتعيد تكوين المادة المتفاعلة A، ولكن يلزم لذلك أن تكتسب الجزيئات C نفس الكمية من الطاقة المنطلقة في التفاعل الأول بالإضافة إلى الطاقة اللازمة لعملية التنشيط، ولكن معدل سرعة هذا التفاعل تكون أقل منها في التفاعل الأصلي، حتى يصل التفاعل إلى نقطة الاتزان التي تكون عندها نسبة المواد الناتجة عن التفاعل أكبر من المواد المتفاعلة.

ولا تؤثر العوامل المساعدة على نقطة الاتزان، حيث إنها تؤثر بالتساوى على تحويل كل من المواد المتفاعلة والمواد الناتجة إلى الصورة النشطة B، ولكنها تعمل فقط على سرعة الوصول إلى هذا الاتزان، أى أنها تعمل على خفض طاقة التنشيط اللازمة للتفاعل.

والإنزيمات مواد بروتينية حيث وجد بتحليل المائي أنها تتكون من نفس العناصر المكونة للبروتين ونفس النسب.

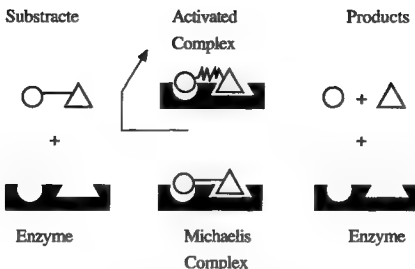
كذلك وجد أنها ترمب بمسببات البروتين المختلفة مثل الكحولات المركزة والأملاح والأحماض.

كما أظهرت الإنزيمات جميع الخصائص العامة للبروتينات ومنها تغير طبيعة الإنزيم بتغير الحموضة أو الوسط الذى يعيش فيه وكذلك بارتفاع درجة الحرارة مما يجعلها فى حالة عديمة النشاط وبالتالي تفقد القدرة على إتمام التفاعلات الحيوية.

كما تنسب بعض الإنزيمات إلى البروتينات البسيطة (Simple Protein) التى تعطى بتحليل المائي أحماضاً أمينية (Amino Acids).

بينما ينسب البعض الآخر إلى البروتينات المرتبطة أو المزدوجة (Conjugated Proteins) حيث ترتبط بمجاميع أخرى غير بروتينية تسمى المجموعات المرتبطة.

وقد وجد فى جميع التفاعلات التى تساهم فيها العوامل المساعدة أنه يحدث ارتباط غير دائم بين المادة المتفاعلة والعامل المساعد، وأوضحت الدلائل على أنه يحدث نفس الارتباط فى حالة التفاعلات الإنزيمية.



شكل (١١) المراكز النشطة على سطح الإنزيم

يتضح من الشكل السابق أنه يوجد على سطح الإنزيم (البروتين) مراكز نشطة مناسبة للمادة المتفاعلة، وحينئذ تنشط الرابطة في المادة المتفاعلة لدرجة الانشقاق، ثم تنطلق نواتج التفاعل في المحلول (وسط التفاعل) Michaelis اسم العالم الذى اخترعه.

وينفرد مرة أخرى جزء الإنزيم دون حدوث أى تغيير، وفي هذه الحالة يستطيع الجزيء الواحد من الإنزيم تحويل العديد من جزيئات المادة المتفاعلة.

ومن أهم الخصائص التى تميز الإنزيمات عن غيرها من العوامل المساعدة أنها على درجة كبيرة من التخصص.

كما أظهرت الإنزيمات تخصصاً دقيقاً تجاه الترتيب الفراغى للمواد المتفاعلة، ويعزى هذا التخصص الدقيق للإنزيمات أساساً إلى طبيعة المجاميع الكيميائية التى توجد فى مراكز التفاعل (المراكز النشطة) على سطح الإنزيم وترتيب هذه المجاميع الكيميائية وطبيعة الشحنة الإلكترونية التى تحملها.

تقسيم الإنزيمات، Classification of Ezyme

تنقسم الإنزيمات إلى ستة مجموعات Classes وذلك تبعاً لنوع التفاعل الذى تقوم به.

ثم تنقسم إلى ٣٢ مجموعة أخرى Subclasses حسب نوع الرابطة التي تعمل على كسرها أو تكوينها أو حسب نوع المجموعة الكيميائية التي تقوم بإزالتها أو نقلها من مركب لآخر.

المجموعات الرئيسية الستة للإنزيمات:

١- المؤكسدة Oxidation

٢- الناقلة Transference

٣- المحللة Hydrolysis

٤- النازعة Lysis

٥- المحولة Isomeric

٦- الرابطة Synthesis

١- المؤكسدة، Oxidation

هي الإنزيمات التي تقوم بدور العامل المساعد في تفاعلات الأكسدة والاختزال، وبالرغم من أن هذا النوع من التفاعلات يشمل نقل كل من الهيدروجين Hydrogen، Electron إلا أنها لا تصنف مع الإنزيمات الناقلة.

٢- الناقلة، Transference

هي الإنزيمات التي تقوم بدور العامل المساعد في نقل مجموعات كيميائية لا توجد في الصورة الحرة من مركب إلى آخر وتقسيم هذه المجموعة من الإنزيمات يرجع إلى طبيعة المجموعة الكيميائية التي يتم نقلها.

٣- المحللة، Hydrolysis

هي الإنزيمات التي تقوم بدور العامل المساعد في تفاعلات التحلل المائي بإضافة جزيء ماء خلال الروابط المختلفة في المركبات المختلفة.

٤- النازعة، Lysis

تقوم بدور العامل المساعد في نزع مجموعة كيميائية من المادة المتفاعلة بدون

حدوث تحلل مائي أو أكسدة أو اختزال، وتختلف عن مجموعة الإنزيمات الناقلة في أن هذه المجموعات الكيميائية لا تنتقل مباشرة إلى مركب آخر.

٥- المتوترة، Isomeric

وهي التي تقوم بدور العامل المساعد في إعادة الترتيب الداخلي في المركبات، أي تحويل مشابه إلى آخر دون حدوث تغيير في التركيب الأولي للمركب.

٦- الرابطة، Synthesis

تقوم بدور العامل المساعد في عمليات التخليق، أي ربط جزيئين معا باستخدام الطاقة الناتجة عن تحلل رابطة بيروفوسفاتية من المركب أدينوزين ثلاثي الفوسفات (A T P).

* * *

المرافقات الإنزيمية والمجموعات المرتبطة:

Coenzymes and Prosthetic Groups:

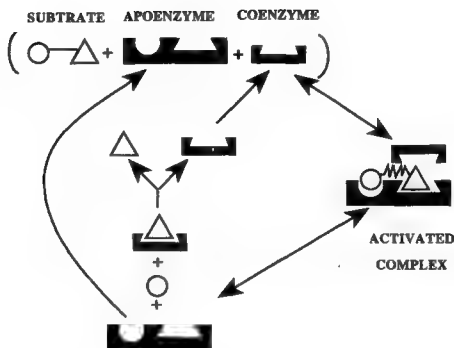
تحتاج عديد من الإنزيمات لإتمام وظائفها الحيوية إلى وجود مركبات عضوية غير قابلة للتحلل، هذه المركبات قد تكون مرتبطة تماماً ببروتين الإنزيم فتسمى المجموعات المرتبطة Prosthetic group، وإذا كان ارتباطها بالإنزيم غير ثابت فتسمى المرافقات الإنزيمية Coenzymes.

كما أن بعض الكواenzymes توجد على الحالة الحرة تماماً في وسط التفاعل ولا ترتبط ببروتين الإنزيم إلا عند بداية التفاعل.

ويطلق اصطلاح Apoenzyme على الجزء البروتيني للإنزيم البعيد عن التفاعل الإنزيمي.

ويطلق اصطلاح Holoenzyme على الجزء البروتيني للإنزيم المنشق أو البعيد عن التفاعل الإنزيمي.

وترجع الوظيفة الحيوية للكواenzymes إلى أنها تساعد على تكسير المادة المتفاعلة حيث تعمل كمستقبل لإحدى نواتج التكسير، ولا ترتبط المادة المتفاعلة مع الإنزيم لتصبح في حالة معينة من النشاط إلا في وجود الكواenzymes؛ فيتم تكسير المجموعة المراد نزعها من المادة، وحيث تستقل نواتج التكسير وترتبط بالكواenzymes الذي يكون مناسباً لها في تركيبه الكيميائي، ثم تنتقل هذه الجزيئات إلى نظام إنزيمي آخر حيث تضاف إلى مادة أخرى ويتجدد نشاط الكواenzymes وليكون كل من الإنزيم والكواenzymes قادراً على نفس الدورة مرة أخرى.



شكل (١٢) المرافقات الإنزيمية والمجموعات المرتبطة

يتضح من الشكل أن المجموعات المرتبطة تعمل بأسلوب مشابه لما سبق ذكره، والاختلاف الوحيد فيها هو أن المجموعة المرتبطة والمستقبلية لجزيئات المادة تظل مرتبطة ببروتين الإنزيم.

وعديد من الكواينيمات والمجموعات المرتبطة تنسب في تركيبها الكيميائي إلى النكلوتيدات، كما أن بعضها وخاصة التي تساهم في تفاعلات الأكسدة البيولوجية تحتوي على إحدى أفراد مجموعة فيتامين B في تركيبها.

* * *

الإنزيمات المساعدة الناقلة للهيدروجين، Hydrogen Lysis Coenzymes

أ- نيكوتيناميد أدينين داي نكليوتيد، Nicotinamide Adinine Dinucleotide

وهو عبارة عن نكليوتيد ثنائي أحدهما أدينوزين أحادي الفوسفات (Adenosin 1 Phosphat) ويرتبط عن طريق وحدة الفوسفات مع فوسفات النكليوتيد الآخر (Nucleotide) المكون من أميد حمض النيكوتينك (Necotinic) أحد أفراد مجموعة فيتامين B الذي يرتبط مع سكر الريبوز (Ribose) والذي يرتبط بدوره مع حمض الفوسفوريك.

ب- نيكوتيناميد أدينين داي نكليوتيد فوسفات،

Nicotinamid Adinin Di Nucleorede Phosphat (N A D P):

وهو يحتوى بجانب التركيب الكيميائي لكوإنزيم (Coenzymes) على بقايا مجموعة فوسفات عند ذرة الكربون رقم ٢ للسكر المرتبط بالأدينين (Adinin)، ويوجد كل من CO_2 ، $Co\ 1$ فى أنسجة الحيوان، وتعمل كمراقات إنزيمية للعديد من الإنزيمات التى تقوم بدور العامل المساعد فى تفاعلات الأكسدة والاختزال (dehydrogenases).

وتتم الأكسدة والاختزال على حلقة البيريدين فى النيكوتيناميد حيث يمكن أن تنزع ذرتين هيدروجين من المادة المتفاعلة ثم تنقلهما إلى مادة أخرى.

الإنزيمات المساعدة الناقلة لمجموعة تحتوى على ذرة كربون واحدة:

يتم انتقال للمجموعات التى تحتوى على ذرة كربون واحدة مثل مجموعة الفورميل CHO (Formyl)، والميثيل CH_3 ، والهيدروكسى ميثيل $CH_2\ OH$ ، بواسطة مشتقات حمض الفوليك وهى الصورة المختزلة للفوليك.

الإنزيمات المساعدة الناقلة للأسيل:

وتلعب هذه المجموعة من الكوانزيمات دورا هاما فى ميثابولزم الدهون والكربوهيدرات، ومن أهمها الكوانزيمات التى تحتوى على مجموعة سلفهيد.

ومجموعة السلفهيد هي الفعالة فيولوجيا، حيث تنتقل إليها مجموعة الأسيل
النشطة لتكون في النهاية مجموعات السلاسل الكربونية.

الإنزيمات المساعدة الناقلة للفوسفات:

هي مجموعة من الكوانزيمات تدخل في تفاعلات نقل الطاقة من مركب لآخر،
وهي عبارة عن نيكليوتيدات ثنائية الفوسفات مثل أدنوزين داي فوسفات (ADP)،
جوانزين داي فوسفات (GDP)، يوريدين داي فوسفات (UDP).

وتقوم إنزيمات الكينيز (Kinases) بدور العامل المساعد في نقل الفوسفات إلى
النيكليوتيدات ثنائية الفوسفات.

وتعمل أيضا بعض النكليوتيدات ثنائية الفوسفات في نقل مجموعة الجليوكسيل
(glycosyl) مثل يوريدين داي فوسفات جلوكور (Uridin Diphosphat) الذي يقوم
بنقل الجلوكور إلى الفركتوز لتخليق السكروز، كذلك يشترك في تحويل الجلكتوز إلى
جلوكور (Glucose → Galactose).

المجموعات المرتبطة : Prothetic Groups

١- مجموعة الفلافين:

وهي عبارة عن مشتقات فوسفاتية للريوفلافين B2 وهي تنقسم إلى:

أ- مجموعة مرتبطة مع وحدة فلافين مع سكر الريبوتول والذي يرتبط بدوره مع
حمض الفوسفوريك.

ب- مجموعة مرتبطة مع الريبوفلافين فوسفات ويتكون عنها فلافين أدنين داي
نكليوتيد (FAD) وهي ترتبط من خلال مجموعة الفوسفات.

ويعمل كل من FMN و FAD كمجموعة مرتبطة لمجموعة من الإنزيمات تسمى
فلافوبوتين إنزيم (Flavoprotein Enzymes) والتي تقوم بدور العامل المساعد في
تفاعلات الأكسدة والاختزال.

وتتم الأكسدة والاختزال فى المجموعات المرتبطة التى تحتوى على الريبوفلافين فى
جزىء الفلافين باستقبال ذرتى هيدروجين، حيث يتم نقل ذرات الهيدروجين فيما بعد
إلى نظام آخر فى سلسلة تفاعلات الأكسدة والاختزال.

٢- فوسفات البيريدوكسول، Pyridoxol Phosphat

وهو المشتق الفوسفاتى لفيتامين B6 ، وتدخل مركبات البيريدوكسول فوسفات
كمجموعة مرتبطة للعديد من الإنزيمات الخاصة بتمثيل الأحماض الأمينية Amino acid
وهى نقل مجموعة الأمين ونزع مجموعة الكربوكسيل.

٣- ثيامين بيروفسفات ، Thiamine Pyrophosphat

ويعمل كمجموعة مرتبطة للإنزيمات التى تقوم بدور العامل المساعد فى تفاعلات
إضافة أو نزع مجموعة الكربوكسيل Carboxylase وتوجد فى أنسجة الحيوان.

الإنزيمات الهضمية: Digestive Enzymes

يشتمل الجهاز الهضمي للإنسان على مجموعة كبيرة من الإنزيمات الهضمية التي تقوم بتحليل المواد الغذائية من صورها المعقدة إلى صور أخرى بسيطة حتى يتمكن الإنسان من الاستفادة بها في عمليات التمثيل الحيوي للطاقة في الجسم وهي كالتالي:

جدول (٧) الإنزيمات الهضمية

اسم الإنزيم	المصدر الذي يحتوي على الإنزيم	مكان تكوين الإنزيم	مكان عمل الإنزيم	الوسط المناسب
أميلاز	اللعاب	الغدة اللعابية	تجويف الفم	متعاد
الببسين	العصير المعدى	غدة المعدة	تجويف المعدة	حامضى
هيموزين الأطفال	العصير المعدى	غدة المعدة	تجويف المعدة	حامضى
ليباز الأطفال	العصير المعدى	غدة المعدة	تجويف المعدة	حامضى
التريسين	عصير البنكرياس	غدة البنكرياس	تجويف الاثنى عشر	قلوى
النوكلياز	عصير البنكرياس	غدة البنكرياس	تجويف الاثنى عشر	قلوى
أميلاز	عصير البنكرياس	غدة البنكرياس	تجويف الاثنى عشر	قلوى
ليباز المرارة	عصير البنكرياس	غدة البنكرياس	تجويف الاثنى عشر	قلوى
الإيرييسين	العصير المعوى	غدة الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف
المالتيز	العصير المعوى	غدة الأمعاء	تجويف الفامعاء	قلوى خفيف
الساكرز	العصير المعوى	غدة الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف
اللاكثيز	العصير المعوى	غدة الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف
ليبيز	العصير المعوى	غدة الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف
الأنثروكتيناز	العصير المعوى	غدة الأمعاء	تجويف الأمعاء	قلوى خفيف

ومن الأقوال المأثورة عن العلماء أن الحياة أسامها استمرار فعل الإنزيمات، فجميع العمليات الحيوية التي تتم في الجسم تنسب إلى فعل الإنزيمات، لذا فيمكن القول أن الإنزيمات والهورمونات وعوامل الوراثة هم أساس حياة الإنسان.

الفصل السابع

التمثيل الهوائي للطاقة



- مقدمة:
- أنواع القدرات الهوائية.
- فسيولوجيا القدرات الهوائية.
- إنتاج الطاقة بنظام الأكسجين.
- الجلوكزة الهوائية.
- دورة كربين.
- تمثيل الجلوكوز والجليكوجين أثناء العمل البدني الهوائي.
- الحد الأقصى لاستهلاك الأوكسجين.
- الحد الأقصى المطلق والنسبي لاستهلاك الأكسجين.



التمثيل الهوائى للطاقة:

Energy Aerobic Metabolism:

المقدمة:

كلمة هوائى يقصد بها العمل العضلى الذى يعتمد بشكل أساسى على الأكسجين فى إنتاج الطاقة أى إنتاجه بالعضلة بطريقة هوائية.

ويعرف العمل الهوائى بأنه هو ذلك العمل الذى يتم فى وجود الهواء أو بمعنى أدق فى وجود الأكسجين With Oxygen وليس المقصود بذلك أن يتم فى الهواء الطلق كما يفهم البعض، ولكن هو ذلك العمل الذى يتم بسرعة معتدلة أو ببطء وبحيث تكون كمية الأكسجين التى يستهلكها الشخص كافية للجهد الذى يبذله، لذا نجد أنه قادر على الاستمرار فى تكرار هذا النشاط لمدة طويلة.

والجلد الدورى التنفسى أو التحمل الدورى التنفسى هو ما يطلق عليه من الوجهة الفسيولوجية التحمل الهوائى نسبة لاعتماد العمل العضلى على الأكسجين لإنتاج الطاقة، وبالمقارنة بين كلمة «هوائى» وكلمة الجهاز «الدورى التنفسى» التى ينسب إلى كل منهما التحمل فإن كلمة هوائى يقصد بها عمليات التمثيل الغذائى الهوائى التى تعتمد على استهلاك الأكسجين، يدخل ضمن العمليات الفسيولوجية اللازمة لذلك عمليتان أساسيتان هما:

- عملية نقل الأكسجين حيث يقوم الجهازان التنفسى والدورى والدم بمهمة نقل الأكسجين إلى العضلات.
- والعملية الأخرى هى قيام العضلات باستهلاك ما يصل إليها من الأكسجين لإنتاج الطاقة الهوائية.

وأجهزة نقل الأكسجين وهى «الجهاز التنفسى والدورى والدم» لا تعتبر عاملا معوقا لإنتاج الطاقة الهوائية حيث إنها تقوم بدورها وتوفر للعضلة الأكسجين وبما يفوق

قدرة العضلة على استهلاكه، وبذلك فإن العضلة ذاتها هي الأساس في التحمل الهوائى، كما أن العمليات البيوكيميائية والفسيولوجية داخل العضلة هي المحددة للقدرة الهوائية، وهذا ما يجعلنا نربط التحمل بمصطلح الهوائى أكثر من الجهاز الدورى والتنفسى حيث إن كلمة هوائى هي الأكثر دقة والأكثر شمولاً لأنها تحتوى الجهاز الدورى والتنفسى والدم والعضلات ذاتها.

فالعامل الهوائى أوضحه البعض بأنه التغيرات الكيميائية التى تحدث فى العضلات العاملة لإنتاج الطاقة اللازمة لأداء مجهود بدنى باستخدام أكسجين الهواء الجوى.

وتظهر كفاءة القدرة الهوائية أو التحمل الهوائى للاعب فى عدة مظاهر من أهمها:

- الاقتصاد الوظيفى عند أداء العمل العضلى بمعنى إمكانية أداء نفس المستوى من العمل العضلى، ولكن مع الاقتصاد فى الطاقة المستهلكة أو الارتفاع بمستوى الأداء عند استهلاك نفس مستوى الطاقة.

- إمكانية الاحتفاظ بمستوى أداء ثابت للعمل البدنى مع إمكانية الارتفاع به وتطويره.

- قطع المسافات أو اتخاذ الأعمال البدنية فى زمن أقل.

هناك اتفاق على أن الأنشطة الرياضية التى يستمر فيها العمل العضلى لفترة طويلة قبل الإحساس بالتعب، وهذه الفترة تتراوح من ثلاث دقائق ونصف حتى ساعتين هي أنشطة هوائية، ومن هذه الأنشطة: «الجرى والسباحة لمسافات طويلة - الماراثون».

أنواع القدرات الهوائية:

حينما نتكلم عن القدرات الهوائية فإننا نعنى نفس مفهوم التحمل الهوائى وهناك كثير من التقسيمات لأنواع التحمل تختلف تبعاً لطبيعة الهدف من التقسيم، من أهم هذه التقسيمات:

• التحمل العام أو القدرة الهوائية العامة .

• التحمل الخاص أو القدرة الهوائية الخاصة .

والتحمل العام هو قدرة الجسم على إنتاج الطاقة الهوائية عند تنفيذ الأنشطة البدنية المختلفة فضلا عن أداء النشاط الرياضى التخصصى ، وهو يعتبر أساسا مهما لبرامج الإعداد لجميع الرياضيين سواء كانوا من لاعبي السرعة أو لاعبي التحمل وخاصة فى بداية الموسم التدريبى .

والتحمل الخاص يقصد به مقدرة اللاعب على مواجهة التعب عند أعلى مستوى وظيفى للتمثيل الغذائى الهوائى الذى يمكن للاعب أن يحققه فى نشاطه الرياضى التخصصى . وتختلف أنواع التحمل الخاص ودرجاته حيث يشمل :

- تحمل المسافات الطويلة .

- تحمل المسافات المتوسطة .

- التحمل الخاص بالألعاب الرياضية .

هسيولوجيا القدرات الهوائية:

- إنتاج الطاقة بنظام الأكسجين **Oxygen System** .

يتميز هذا النظام على النظامين الآخرين لإنتاج الطاقة (الفوسفاتى - اللاكتيك) بوجود الأكسجين كعامل فعال خلال التفاعلات الكيميائية لإعادة ATP ويتم نظام الأكسجين فى داخل الخلية العضلية، ولكن فى حيز محدود هو الميتوكوندريا Mitochondria وهى عبارة عن أجسام تحمل المواد الغذائية للخلية ويكثر وجودها فى الخلايا العضلية .

ويؤثر التدريب الرياضى بصورة فعالة على الميتوكوندريا فتزداد فى العدد والحجم معا، وهو أمر هام لإنتاج مزيد من الطاقة عند الرياضيين، وتنقسم التفاعلات الكيميائية للنظام الهوائى أو نظام الأكسجين إلى سلاسل رئيسية هى :

- الجللكزة الهوائية Aerobic Glycolysis .

- دورة كريبز Krebs Cycle .

- نظام انتقال الإلكترونات Electron Transport System .

الجللكزة الهوائية Aerobic Glycolysis .

يتم خلال الجللكزة الهوائية تحليل الجليكوجين إلى جزءين من حامض البيروفك Pirovic Acid وبذلك تنتج كمية كبيرة من الطاقة تكفى لإعادة بناء (٣ مول من ATP)، ويتم بعد ذلك استمرار حامض البيروفك خلال سلسلة من التفاعلات الكيميائية تسمى دائرة كريبز .

ففي الأكسدة الهوائية يتعرض حامض البيروفك (الذى تكون فى الأكسدة اللاهوائية) للتفاعلات التالية :

١- يتم نزع ثانى أكسيد الكربون ودخول الأكسجين بدلا منه وبذلك يتحول البيروفك إلى حامض أستيك .

«بيروفك + O_2 ← حامض أستيك Acetic Acid»

٢- اتحاد البيروفك مع ثانى أكسيد الكربون يعمل على تكون مادة تسمى أجزالو أستك .

«بيروفك + Co_2 ← أجزالو أستيك Oxalo Acetic .

٣- اتحاد حامض الأستيك مع أجزالو أستيك يتكون حامض الستريك .

«أستيك + أجزالو ← ستريك Citric Acid .

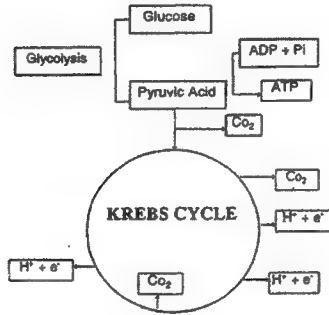
٤- يتعرض التفاعل الأخير إلى تفاعلات تتضمن اتحاد مع الأكسجين حيث يتكون ثانى أكسيد الكربون وماء وطاقة .

دورة كريبز Krebs Cycle:

بعد تكوين حامض البيروفك أثناء الأكسدة الهوائية للجلوكوز فإنه يستمر في التحلل بتفاعلات متصلة أى فى دورة متصلة تعرف بدورة كريبز نسبة إلى العالم هانز Hans Krebs الذى اكتشفها ونال على أثرها جائزة نوبل عام ١٩٥٣ . وفى هذه الدورة يحدث التالى :

١- إنتاج ثانى أكسيد الكربون .

٢- تأكسد الإلكترونات الناتجة من عمليات الأكسدة كما يتضح من الشكل .



شكل رقم (١٣) يوضح دورة كريبز

ويشير (بروكس Brooks ١٩٨٣)، (ويلمور Wilmore ١٩٩٤) إلى أن الجهد الهوائى مثل جرى ١٢ دقيقة والجهد اللاهوائى مثل العدو ١٠٠ متر تؤدي إلى تغيرات فى نظم إنتاج الطاقة، ففي الجهد اللاهوائى يزيد معدل نشاط أنزيمات الأكسدة مع زيادة

الفوسفاجين واللاكتات، وعند الجهد الهوائى يزداد معدل أقصى استهلاك للأكسجين Vo2max مع نقص فى تركيز اللاكتات بالدم.

أما عن الجهد البدنى الهوائى فيشير كل من (فوكس Fox 1979)، (شاركى Sharkey 1990) (مارك هاجريفز Mark Hargreaves 1990) إلى أنه القدرة على أداء مجهود عضلى بشدة متوسطة أو أقل من القصوى لفترة زمنية تزيد على ثلاث دقائق مع قدرة الجهازين الدورى والتنفسى على إمداد العضلات العاملة بالأكسجين، ومن بين تلك الأنشطة سباقات المسافات الطويلة واختراق الضاحية.

ويشير (أبو العلا عبد الفتاح 1984) إلى أن كفاءة الجسم فى استهلاك الأكسجين تعتبر من القدرات الهوائية الهامة التى يتطلبها النشاط البدنى الذى يتطلب تحمل الأداء لفترة طويلة، حيث إن استهلاك الأكسجين بكفاءة Vo2 max يعنى كفاءة إنتاج الطاقة، وبالتالي يتوفر للجسم فرصة الأداء البدنى بكفاءة وفاعلية أكبر، وتسمى القدرة الهوائية Aerobic Power وتقاس بأقصى كمية أكسجين يستطيع الجسم استهلاكها فى وحدة زمنية معينة.

وعن بعض الاختبارات الميدانية التى تقيس القدرة الهوائية يرى (بالك وكوبر Balake & Cooper 1968) أن الاختبارات التى تركز حول قياس القدرة الهوائية Aerobic power هى الاختبارات المناسبة لقياس التحمل الدورى التنفسى، وقد أوصوا بأن هذه الاختبارات تشمل الجرى لمدة 12 دقيقة، 9 دقائق، 6 دقائق، الجرى ميلين أو ميل واحد.

تمثيل الجلوكوز والجليكوجين أثناء العمل البدنى الهوائى،

عن درجة تركيز كل من الجلوكوز وحامض اللاكتيك فى الدم لدى الأفراد العاديين والرياضيين فقد اتفق كل من (فوكس Fox 1979)، (واسرمان Wasserman

١٩٦٤)، (دوجلاس Douglas ١٩٧٢)، (كونيت وآخرون Connentt, etal ١٩٨٤)، (استراند Astrand ١٩٨٤)، (بروكس Brooks ١٩٨٣)، (أبو العلا عبد الفتاح ١٩٨٤) على أن نسبة جلوكوز الدم لدى الفرد العادى تبلغ من (٨٠ - ١١٠ ميليجرام / ١٠٠ مليلتر دم)، حيث يكون هذا المعدل ثابتا فى الصباح قبل تناول طعام الإفطار، ثم يزداد تركيزه خلال الساعات الأولى من تناول الطعام، أما فى حالة الصيام أو الجوع فإن الكبد يعمل على تحويل الجليكوجين Glycogen المخزون به إلى جلوكوز، وتسمى هذه الحالة Glycogenilysis بغرض المحافظة على مستواه فى الدم.

وحول تبادل نظم إطلاق الطاقة خلال النشاط الرياضى يشير (ويلمور Wilmor ١٩٩٤) و(أبو العلا ١٩٨٤) إلى أن هناك بعض الأنشطة الرياضية تقع بين النظام الهوائى والنظام اللاهوائى مثل سباق (١٥٠٠ متر) أو فى بعض الألعاب الجماعية مثل كرة القدم، السلة، اليد حيث يعتمد اللاعب على مصدر الطاقة الفوسفاتى من (ATP) من خلال النظام اللاهوائى فى مرحلة من مراحل الأداء، بينما يكون المصدر الأكبر لإعادة بناء (ATP) خلال الجزء المتوسط من الأداء يعتمد على النظام الهوائى، وبذلك يمكن تقسيم الأنشطة الرياضية حسب استمرارية إنتاج الطاقة إلى مجموعات أربعة تبعا لنظم الطاقة وزمن الأداء فى كل منها.

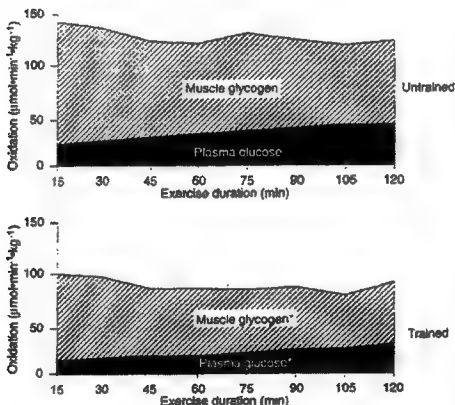
أجرى مؤلف الكتاب دراسة عن تحديد بعض أزمنة الجرى ومسافات العدو المرتبطة بعمليات الأيض الهوائى لإنتاج الطاقة لدى ناشئى كرة القدم، وقد اشتملت عينة البحث على ٣٢ ناشئا من لاعبى كرة القدم ببنادى الترسانة الرياضى وبلغ متوسط أعمارهم ١٦,٣٠ عاما ($\pm ٢,٣٥$)، وبلغ متوسط الطول ١٦٦,٩٠ سم ($\pm ٥,٧٢$)، ومتوسط الوزن ٦١,٢٠ كيلو جرام ($\pm ٤,١٨٥$).

وتحددت القياسات الفسيولوجية فى تركيز جلوكوز الدم، الحد الأقصى المطلق لاستهلاك الأكسجين، وتحدد نوع العمل البدنى الهوائى فى الجرى لمدة زمنية محددة هى (٦ق، ٨ق، ١٢ دقيقة).

أوضحت النتائج أنه تحدث زيادة دالة معنويا فى الأيض الهوائى بدلالة معدل أقصى استهلاك للأكسجين نتيجة جرى ١٢ دقيقة، جرى ٨ دقائق، جرى ٦ دقائق ولصالح الجرى لمدة ١٢ دقيقة.

كما يحدث انخفاض دال معنويا في الأيض الهوائي بدلالة تركيز الجلوكوز بالدم نتيجة جري ١٢ اق، ٨ق ولصالح الجري لمدة ٦ دقائق.

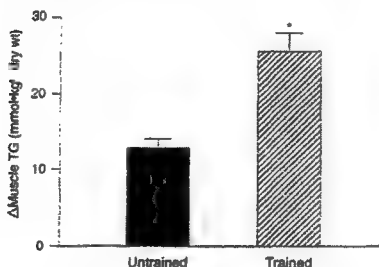
أجرى كل من (كوجان Coggan ١٩٩١، ١٩٩٣)، (مندنهال Mendenhall ١٩٩٤)، دراستين عن تأثير تدريبات التحمل لمدة ١٢ أسبوعا على عمليات أكسدة جليكوجين العضلات وتحلل جلوكور الدم، خلال العمل على الدراجة الأرجومترية لمدة ١٢٠ دقيقة بشدة ٦٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، واعتمدا على تحديد وتقدير كمية استهلاك جلوكور ويلازما الدم، وكذلك تحديد وتقدير الفروق في استهلاك جليكوجين العضلات من خلال القياس غير المباشر للسعرات الحرارية المستهلكة، كما في الشكل.



شكل (١٤) تمثيل الجلوكوز والجليكوجين في العضلات

يتضح أنه خلال الـ ٣٠ دقيقة الأولى من العمل حدث انخفاض في معدل أكسدة الجليكوجين والجلوكوز لدى الرياضيين مقارنة بغير الرياضيين، مما يعكس أن القدرة لدى الرياضيين أعلى من الأفراد العاديين في أكسدة المواد الكربوهيدراتية.

وتشير دراسة (هورلى Hurley ١٩٩٧) عن تأثير تدريبات التحمل لمدة ١٢ أسبوع على تراكيز جليسيرد TG العضلات خلال العمل البدني على الدراجة الأرجومترية لمدة ١٢٠ دقيقة بشدة ٦٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين كما في الشكل .



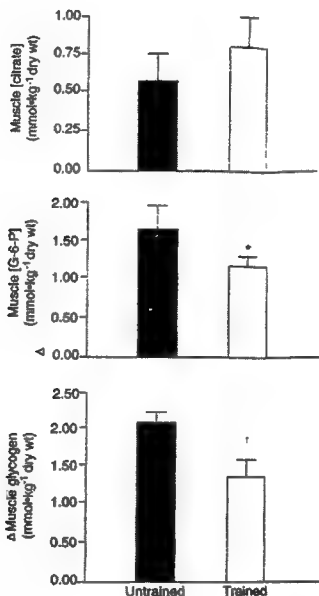
شكل (١٥) تمثيل تراكيز جليسيرد في العضلات

يتضح من الشكل أنه قد حدث انخفاض في تركيز تراكيز جليسيرد TG في مجموعة غير الرياضيين مقارنة بمجموعة الرياضيين.

وتوضح دراسة (كوجان وآخرين Coggan et al ١٩٩١) عن تأثير العمل البدني الهوائي لمدة ١٢ أسبوعاً على تركيز كل من (سترات العضلات (Muscle Citrate)؛ جليكوجين العضلات (Muscle glycogen)، جلوكور ٦ فوسفات (Muscle G-6-P) خلال العمل البدني على الدراجة الأرجومترية لمدة ١٢٠ دقيقة بشدة ٦٠٪ من الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين.

- اتضح أنه قد حدث انخفاض في معدل استهلاك جليكوجين العضلات خلال فترة العمل البدني لدى الرياضيين مقارنة بغير الرياضيين.

- حدث انخفاض في جلوكوز ٦ فوسفات لدى الرياضيين مقارنة بغير الرياضيين وقد كان هذا الانخفاض دال معنويا.
- حدث ارتفاع غير دال معنويا في تركيز سترات العضلات لدى الرياضيين مقارنة بغير الرياضيين كما يوضحه الشكل التالي.



شكل (١٦) تمثيل جليكوجين، جلوكوز، سترات العضلات أثناء العمل البدني الهوائي

الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين، Maximal Oxygen Consumption

يعتبر أقصى استهلاك للأكسجين من العوامل المؤثرة فى الكفاءة البدنية، ويعتبر التعرف على الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين من الأمور الهامة فى التدريب الرياضى بشكل عام وفى تدريبات التحمل بشكل خاص.

والحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين هو أقصى معدل من الأكسجين المستهلك باللتر فى الدقيقة.

كما يطلق عليه بأنه عبارة عن أكبر كمية من الأكسجين التى تستهلك أثناء العمل العضلى باستخدام أكثر من ٥٠٪ من عضلات الجسم.

ومن المعروف أن الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين يعبر عن قدرة الجسم الهوائية، وتقوم بهذه المسئولية ثلاثة أجهزة أساسية فى الجسم هى «الجهاز التنفسى والجهاز الدورى والجهاز العضلى» وبالرغم من أهمية هذه الأجهزة وتعاونها إلا أن أهمها هو الجهاز العضلى، لذا فإن العضلات تعتبر هى العامل المحدد للكفاءة الهوائية وليس عملية نقل الأكسجين إلى العضلات، وبناء على ذلك فإن تنمية التحمل العضلى يحتاج دائما إلى استخدام نفس نوع النشاط الرياضى التخصصى الذى يضمن العمل لنفس الألياف العضلية المستخدمة، بينما تستخدم تدريبات التحمل العام لتنمية كفاءة الجهازين الدورى والتنفسى.

ويعتمد التحمل الهوائى للألياف العضلية على قدرتها فى استهلاك الأكسجين، وهذا يعتمد فى المقام الأول على زيادة محتوى اللياقة العضلية من الميوجلوبين والميتوكوندريا وأنزيمات الطاقة الهوائية وزيادة الشعيرات الدموية، وهذه التغيرات الفسيولوجية هى المسئولة عن زيادة كفاءة العضلة فى استهلاك الأكسجين وإنتاج الطاقة الهوائية، وهذا يساعد العضلة على العمل لفترة طويلة وتحمل التعب.

وتعتمد سباقات المسافات الطويلة على التحمل الدورى التنفسى اعتمادا كبيرا حيث تعد لياقة الجهازين الدورى والتنفسى من أهم عناصر اللياقة البدنية الخاصة بلاعبى التحمل، وفى هذا الصدد يذكر «علاوى ١٩٧٩م» أن التحمل هو قدرة الفرد على العمل لفترات طويلة دون هبوط مستوى الكفاية والفاعلية، فى حين يرى بارو Barrow ١٩٧٦م أن التحمل يعنى القدرة على القيام بمجهود يتطلب انقباض العضلات الإرادية لإخراج قوة متوسطة أو أقل من القوى القصوى لفترات زمنية طويلة.

ويفضل بعض العلماء وخاصة علماء التربية الرياضية بالولايات المتحدة الأمريكية استخدام مصطلح الجلد الدورى التنفسى بدلا من التحمل؛ نظرا لأن هذا النوع من التحمل يرتبط ارتباطا وثيقا بدرجة مستوى الجهازين الدورى والتنفسى؛ إذ يتوقف عليهما نقل الأكسجين والوقود إلى العضلات العاملة حتى تتمكن من الاستمرار فى العمل لفترة طويلة.

ويعرف كل من «استراند Astrand ١٩٧٠م»، «بارك Burke ١٩٨٠م»، «شاركى Sharkey ١٩٧٩م» لياقة الجهاز الدورى التنفس بأنها قدرة الجسم على أخذ ونقل الأوكسجين والاستفادة منه فى داخل الخلايا العضلية لتوفير الطاقة اللازمة للمجهود البدنى، كما أن أفضل مؤشر للياقة الجهاز الدورى التنفسى هو القدرة الهوائية القصوى Maximal Aerobic Power وهى قدرة الفرد على استهلاك الحد الأقصى للأكسجين Vo_2 Max أثناء بذل أقصى جهد بدنى ممكن، ويتم قياس استهلاك الأكسجين باللتر فى الدقيقة فى حالة التعرف على الحد الأقصى المطلق لاستهلاكه، بينما يعرف الحد الأقصى النسبى لاستهلاك الأكسجين بعدد المليتر لكل كيلو جرام من وزن الجسم فى الدقيقة.

ويعد الجرى من أهم الوسائل فى إعداد وتدريب لاعبى المسافات الطويلة وغيرها من الألعاب والرياضات المختلفة، فالجرى هو رياضة الأبطال؛ نظرا لأن أى رياضى فى أى لعبة لا بد أن يعتمد على الجرى كجزء أساسى فى مكونات برامج التدريب لما يتميز

به من استمرارية أكسدة مواد الطاقة بالطرق الهوائية وهو بذلك يزيد من نسبة استهلاك الأكسجين؛ نظرا لاشتراك معظم العضلات الإرادية أثناء الجرى، كما أثبتت عديد من الدراسات أن الجرى يكسب الصحة ويفيد القلب وهو يناسب جميع الأعمار والأجناس وخاصة أن الفرد أثناء الجرى يتنافس مع قدراته هو فى بعض الأحيان وفى أحيان أخرى يتنافس مع الغير لتحقيق زمن معين أو كسب بطولة محددة.

الحد الأقصى المطلق والنسبى لاستهلاك الأكسجين:

يعرف الحد الأقصى المطلق لاستهلاك الأكسجين بعدد اللترات المستهلكة من الأكسجين فى الدقيقة الواحدة (لتر / دقيقة) بينما يعرف الحد الأقصى النسبى لاستهلاك الأكسجين بعد ميلترات الأكسجين مقابل كل كيلوجرام من وزن الجسم فى الدقيقة الواحدة ويمكن حسابها عن طريق قسمة الحد الأقصى المطلق باللتر على وزن الجسم بالكيلوجرام، فيكون الناتج مليلتر/ كجم/ دقيقة.

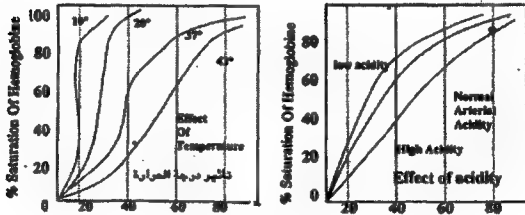
ويتراوح معدل استهلاك الأكسجين للشخص البالغ أثناء الراحة من (٢-٣) لتر/ق ويزداد معدل استهلاك الأكسجين أثناء التمرينات ليصبح (٣-٦ لتر/ق) ويتوقف ذلك على عدة عوامل منها «السن - الجنس - مستوى اللياقة البدنية».

وتجدر الإشارة إلى أن الإنسان يصل إلى الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين عند سن من ١٨ - ٢٠ سنة، ثم يقل تدريجيا مع تقدم العمر كما أن الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين لدى الإناث أقل منه عند الرجال بحوالى ٢٠٪.

ويشير «استراند Astrand ١٩٧٠م» إلى أن متوسط الحد الأقصى النسبى لاستهلاك الأكسجين لدى الرجل السليم وظيفيا فى سن العشرين يصل إلى ٥٦ مليلتر/ كجم/ق. ويرتفع هذا المتوسط إلى أكثر من ٨٠ مليلتر/ كجم/ق تبعا للحالة التدريبية التى يصل إليها الفرد الرياضى».

ويذكر كل من (ويلمور Wilmore ١٩٩٥)، (أبو العلا ١٩٩٧)، (ماتثور Ma-thews ١٩٧٦) أن الحد الأقصى المطلق لاستهلاك الأكسجين لدى غير الرياضيين وقت الراحة يتراوح من (٢-٣ لتر/ ق) ٤٠ مليلتر/ كجم/ ق، بينما يكون لدى الرياضيين من (٤-٦ لتر/ ق) ٨٠-٩٠ مليلتر/ كجم/ ق.

ويشير (فاندر وآخرون Vander, et al ١٩٨٤) إلى وجود ارتباط بين معدل تشبع الهيموجلوبين Hemoglobin بالأكسجين Oxygen، فعندما تكون درجة حرارة الجسم طبيعية (٣٧م) ومعدل (pH) الدم طبيعية (٧,٤) درجة تكون درجة التشبع كاملة تقريبا، بمعنى أنه كلما زاد ضغط الأكسجين يزيد معه درجة تشبع الهيموجلوبين بالأكسجين إلى أن يصل إلى ١٠٠٪، وعندما تكون درجة التشبع (٩٧٪) وتقل درجة التشبع في حالة زيادة حمضية الدم وارتفاع درجة حرارة الجسم حيث يتغير منحني تلك العلاقة بين الهيموجلوبين والأكسجين، ويتغير جهة اليمين ويسمى عندئذ Shift to the Right وذلك تقل درجة التشبع لتصل إلى حوالي (٥٠٪) ويتبع ذلك نقص في كمية الأكسجين التي يحملها الدم إلى الأنسجة العضلية.



شكل رقم ١٧

منحني تشبع الهيموجلوبين بالأكسجين في حالة زيادة حموضة الدم
(عن فاندر وآخرون VANDER, et al ١٩٨٤)

الفصل الثامن

التمثيل اللاهوائي للطاقة



- مقدمة:
- أنواع القدرات اللاهوائية.
- فسيولوجيا القدرات اللاهوائية.
- النظام الفوسفاتي.
- نظام حامض اللاكتيك.
- بعض المفاهيم عن حامض اللاكتيك.
- استخدام حامض اللاكتيك كمصدر للطاقة.
- تحليل الجلوكوز لاهوائيا.
- العتبة الفارقة اللاهوائية.

* * *

التمثيل اللاهوائى للطاقة:

Energy Anaerobic Metabolism:

المقدمة:

يرجع اصطلاح «اللاهوائى» إلى العمل العضلى الذى يعتمد على إنتاج الطاقة اللاهوائية.

العمل اللاهوائى أوضحه البعض بأنه عبارة عن التغيرات الكيميائية التى تحدث فى العضلات العاملة لإنتاج الطاقة اللازمة لأداء المجهود، مع عدم كفاية أكسجين الهواء الجوى.

كما أن العمل اللاهوائى هو ذلك العمل الذى يتم فى غياب الأكسجين أو دون كمية كافية منه Without Oxygen ويتضمن النشاط السريع الذى لا يستمر لمدة طويلة مثل (العدو السريع أو حمل الأثقال أو الجمباز).

وعندما يتطلب الأداء الحركى عملاً عضلياً بأقصى سرعة أو أقصى قوة فإن عمليات توجيه الأكسجين إلى العضلات العاملة لا تستطيع أن تلبى حاجة العمل العضلى السريعة من الطاقة، وعلى هذا الأساس يتم إنتاج الطاقة بدون الأكسجين أى بطريقة لاهوائية، وكما ذكرنا سابقاً أن هناك نوعين من نظم إنتاج الطاقة اللاهوائية أحدهما نظام الطاقة الفوسفاتى «ATP-PC» وهو النظام الأسرع والمستول عن إنتاج الطاقة للأنشطة البدنية التى تؤدى بأقصى سرعة ممكنة فى حدود ما لا يزيد عن ٣٠ ثانية.

وفى حالة زيادة فترة العمل العضلى إلى دقيقة أو دقيقتين، فإن النظام اللاهوائى الثانى وهو نظام حامض اللاكتيك (الجليكوز اللاهوائية) يصبح هو النظام المستول عن إنتاج الطاقة، وينتج عن هذه العملية حامض اللاكتيك الذى يؤثر على قدرة العضلة على الاستمرار فى الأداء بنفس الشدة ويحدث التعب.

وتحتاج العضلات إلى كمية كبيرة من الطاقة أثناء انقباضها فتستمد منها من مصادر عدة أولها هو مخزون أدينوزين ثلاثى الفوسفات Adenosine Triphosphate والذى يعتبر المكون الأساسى لانطلاق الطاقة ولكن سرعان ما يستنفد هذا المخزون بعد حوالى ثانية من الانقباض.

والعضلات تقوم ببناء أدينوزين ثلاثى الفوسفات من انشطار «الكرياتين Creatine فتنتقل طاقة لاهوائية أى فى عدم وجود الأكسجين، ولكن سرعان ما تستنفد هذه الطاقة

فى خلال ثوان قليلة فتضطر العضلات بعدها إلى هدم الجليكوجين Glycogen المختزن فيها لاستعادة بناء أدينوزين ثلاثى الفوسفات لانطلاق طاقة لاهوائية، ويتج عن هذه العملية حامض اللاكتيك حيث لا يتواجد قدر كاف من الأكسجين.

وبنظرة تحليلية لأنشطة النظام اللاهوائى نجد أنها تلك الأنشطة التى تتطلب الاداء بالسرعة القصوى، إذا كان العمل العضلى من النوع المتحرك، أو بالانقباض الأقصى إذا كان العمل العضلى من النوع الثابت.

وجميع الأنشطة اللاهوائية تتميز بقوة الانقباض العضلى مما يؤدى إلى زيادة إنتاج الطاقة من إدينوزين ثلاثى الفوسفات، كما تتميز بالشدة العالية وتأثير بعدة عوامل هى:

- نقص مخزون الطاقة.
- الارتفاع الشديد فى درجة الحرارة.
- ارتفاع مستوى حامض اللاكتيك.
- القوة العضلية ونوع الألياف العضلية.
- السن والجنس.

أنواع القدرات اللاهوائية،

تنقسم القدرات اللاهوائية إلى نوعين هما:

١- القدرة اللاهوائية القصوى Maximum Anaerobic Power وهى القدرة على إنتاج أقصى طاقة أو شغل ممكن بالنظام اللاهوائى الفوسفاتى، وتتضمن جميع الأنشطة البدنية التى تؤدى بأقصى سرعة أو قوة وفى أقل زمن ممكن يتراوح ما بين ٥-١٠ ثوانى.

٢- السعة اللاهوائية Anaerobic Capacity ويطلق عليها أيضا التحمل اللاهوائى Anaerobic Endurance وهى القدرة على الاحتفاظ أو تكرار انقباضات عضلية قصوى اعتمادا على إنتاج الطاقة اللاهوائية بنظام حامض اللاكتيك، وتتضمن جميع الأنشطة البدنية التى تؤدى بأقصى انقباضات عضلية ممكنة سواء ثابتة أو متحركة مع تحمل التعب حتى دقيقة أو دقيقتين.

ويذكر (ويلمور Wilmore ١٩٩٤)، (ماتثوز Mathews ١٩٨١) أن القدرة اللاهوائية تعني قدرة العضلة على العمل في إطار إنتاج الطاقة اللاهوائية والتي تتراوح بين أقل من ٣٠ ثانية حتى دقيقتين بشدة قصوى، ويتطلب ذلك كفاءة في قدرة العضلات على تحمل نقص الأكسجين وزيادة قدرة تلك العضلات على استخدام نظم الطاقة اللاهوائية وتحمل زيادة حامض اللاكتيك Lactic Acid. ومن بين هذه الأنشطة العدو لمسافة ١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠ متر.

كما أن القدرة اللاهوائية Aerobic power هي التي تعتمد على إنتاج الطاقة في أقل زمن ممكن لأداء عمل عضلي قصير اعتمادا على نظام الفوسفات، وتعتبر قياسات القدرة اللاهوائية هي بمثابة قياسات الحد الأقصى لعمليات التمثيل الغذائي اللاهوائي لإنتاج الطاقة، ويضيف أن التحمل اللاهوائي يمثل قدرة العضلات على القيام بانقباضات عضلية بالحد الأقصى لها خلال فترة زمنية من ١٠ ثوان حتى دقيقتين اعتمادا على نظام حامض اللاكتيك لإنتاج الطاقة.

فسيولوجيا القدرات اللاهوائية،

تعتمد القدرات اللاهوائية على النظام اللاهوائي لإنتاج الطاقة. وهذا النظام ينقسم إلى نوعين، هما النظام الفوسفاتي ونظام حامض اللاكتيك.

النظام الفوسفاتي : phosphagen system

يوجد في خلايا الجسم مركب كيميائي يسمى ثلاثي أدينوزين الفوسفات Adenosin Triphosphate ويرمز له بالرمز (ATP) ويتكون من مواد بروتينية وكربوهيدراتية بالإضافة إلى المجموعة الفوسفاتية، وتقوم خلايا الجسم بوظائفها اعتمادا على الطاقة الناتجة عن انشطار هذا المركب الكيميائي حيث يؤدي انشطار أحد مكونات المجموعات الفوسفاتية إلى إنتاج كمية كبيرة من الطاقة حوالي من ٧ - ١٢ سعر حراري كبير (كيلو كالوري) ويصبح المركب بعد ذلك ثنائي الفوسفات (Adenosin Diphosphate) ويرمز له بالرمز (ADP) وتعتبر المصدر المباشر للطاقة الذي تستخدمه العضلة في أداء الشغل المطلوب، إلا أن كمية (ATP) المخزون في العضلة قليلة جدا لا تكفي لإنتاج طاقة تتعدى بضعة ثوان، ولذلك فإنه يتم بصفة مستمرة إعادة بناء (ATP) وعند انشطاره تتحرر كمية من الطاقة تعمل على استعادة بناء (ATP) حيث يتم استعادة مول (ATP) (Mole) مقابل انشطار مول (PC).

وتقدر كمية المخزون من (ATP - PC) في العضلة لدى الرجال ٦, ٠ مول (*) بينما عند السيدات ٣, ٠ مول. ويلاحظ أن القيمة الحقيقية لهذه المركبات تكمن في سرعة إنتاج الطاقة وعندما يعدو اللاعب ١٠٠ متر بأقصى سرعة فإن مخزون (ATP - PC) ينتهى ثم يعاد بناؤه مرة أخرى أثناء عملية الاستشفاء، وتعتمد الأنشطة الرياضية التى تتم فى وقت قصير مثل العدو والوثب ودفع الجلة والذي يتراوح زمن الأداء فى كل منها إلى أقل من ٣٠ ثانية تعتمد على النظام الفوسفاتى كمصدر للطاقة، ولذلك يطلق عليه النظام اللاهوائى حيث لا يعتمد على سلسلة طويلة من التفاعلات الكيميائية كما أنه لا يعتمد على الأكسجين لإتمام التفاعل.

ويخزن الجزء الأكبر من الطاقة الناتجة من تفاعلات أكسدة المواد العضوية فى صورة طاقة كيميائية (Chemical Energy) فى المركبات الفوسفاتية ذات الطاقة العالية (High Energy Cppounds) والتى تنفرد منها طاقة حرة قدرها حوالى ٦-١٦ كيلو كالورى / مول عند التحلل المائى لها، بينما المركبات ذات الطاقة المنخفضة (LowEnergy Compounds) تنفرد منها طاقة حرة قدرها من ٢-٤ كيلو كالورى/ مول عند تحلل الروابط الكيميائية لها.

ومن أهم المركبات ذات الطاقة العالية المركبات الفوسفاتية مثل فسفوانيل بيروفات (Phosphoenol Pyruvate)، كربوكسيل فوسفات (Carboxy Licphosphate)، البيروفوسفات (Pyrophosphate)، ثلاثى فوسفات الأدينوزين (Adenosin Triphos-phate)، ويرمز له بالرمز ATP لأنه من الروابط ذات الطاقة العالية حيث ينفرد ATP بأهمية خاصة بين المركبات ذات الطاقة العالية ويواسطتها تتجمع الطاقة الحرة والمنفردة من تفاعلات أخرى بصورة مباشرة وغير مباشرة؛ ونظرا لأن هذه المركبات ليست ثابتة (Unstable) فى الخلية الحية فإنها لا تكتسب أهمية كبيرة فى تخزين الطاقة إذا ما قورنت بمركب فسفوكرياتين (Creatinephosphate)، ويرمز له بالرمز PC، وهو ذات أهمية خاصة فى تخزين الطاقة بالإضافة إلى فسفوارجينين (Phosphoarginine).

(*) المول هو وزن الجرام الجزيئى وهو عبارة عن المجموع الكلى للوزن الذرى لمكونات المركب الكيميائى ويستخدم المول كوحدة قياس للمركبات.

وفي الأكسدة اللاهوائية (Anaerobic Oxidation) نجد أن الجلوكوز (Glucose) يتحول إلى جلوكوز ٦ فوسفات (Glucose 6- Phosphate) ليصبح أكثر نشاطا ويكون منتجا للطاقة وليصبح قادرا على الاشتراك بسهولة في التحولات الحيوية داخل الخلايا العضلية؛ ولاحظ أن عملية فسفرة الجلوكوز تشمل تكسير أحد الروابط الغنية بالطاقة لتكوين رابطة فوسفات جديدة فقيرة نسييا بالطاقة، ويؤثر على تلك العمليات هورمونات عديدة بالجسم أهمها الأنسولين، وينتهي تمثيل الجلوكوز لاهوائيا داخل الخلايا العضلية بتكوين مركب كيميائي جديد هو حامض اللاكتيك (Lactic Acid).

نظام حامض اللاكتيك: Lactic Acid system

يعتمد هذا النظام على بناء (ATP) لاهوائيا بواسطة عملية الجليكزة اللاهوائية (Glycolysis) حيث يتم انشطار السكر في غياب الأكسجين مما يؤدي إلى تكوين حامض اللاكتيك في العضلة والدم وهذا بدوره يؤدي إلى التعب العضلي عند زيادته.

وفي هذا النظام تتم التفاعلات الكيميائية في غياب الأكسجين مما ينتج عنه قلة كمية (ATP) التي يمكن استعادتها من انشطار السكر بالمقارنة في حالة إتمام هذه التفاعلات الكيميائية في وجود الأكسجين.

حامض اللاكتيك عبارة عن مركب كيميائي يرمز له بالرمز التالي:

(CH₃-CHOH-COOH) ويذكر (واسرمان WASSERMAN ١٩٦٤، أن

نسبة حامض اللاكتيك في الدم لدى الفرد العادي وقت الراحة من (٨-١٢ مليجرام /) (حوالي ١-١٠ مللي مول. لتر) ويعتبر حامض اللاكتيك هو الصورة النهائية لاستهلاك الجليكوجين اللاهوائي (بدون الأكسجين)، إلا أن تلك النسبة تزيد عند أداء الأنشطة الرياضية ذات الشدة العالية، وعند معدل منخفض من الأكسجين (Hypoxia)، وأن استخدام كلمة لاهوائي تعني أن كمية الأكسجين تصبح غير كافية لتكوين الطاقة بالطرق الهوائية.

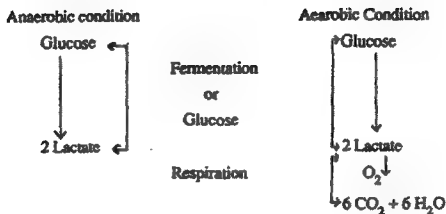
ينتج حامض اللاكتيك من تحليل الجليكوجين والجلوكوز - (Glycogenolysis and glycolysis) بواسطة بعض الإنزيمات التي تعمل على تحلل الجلوكوز إلى حامض اللاكتيك كنهاية لعملية (glycolytic Pathway) بمساعدة إنزيم (لاكتات ديهيدروجينيز Lactate dehydrogenase) ويرمز له بالرمز (Pyruvat) إلى لاكتات (Lactate) تفقد

بعض الطاقة التي تقدر بنسبة (٦, ٠ كالورى / مول) ويتكون حامض اللاكتيك كنتائج لعملية التمثيل الغذائى للمواد السكرية فى غياب الاكسجين، كما يتكون ثانى أكسيد الكربون كنتائج لعملية التنفس الخلوى، والفرق بين الاثنين (Lactic Acid , CO_2) هو أن ثانى أكسيد الكربون يعتبر الناتج النهائى لعملية التنفس، بينما حامض اللاكتيك ناتج أثناء عمليات التمثيل الغذائى (Metabolism).

ويذكر (دوجلاس وآخرون ١٩٧٢ DOUGLAS, et al)، أنه أثناء العمل العضلى البسيط لا تحدث زيادة كبيرة فى تركيز اللاكتات بالدم عن تركيزها قبل بداية العمل العضلى، ولكن بزيادة معدل العمل العضلى إلى حد فوق المتوسط تبدأ اللاكتات فى الارتفاع بالدم، ولا حظوا أن مقدرة اتحاد الكربونات بالدم (HCO_3) تقل عند زيادة تركيز اللاكتات بالدم، وأن عدد مرات التنفس يزداد لطرد ثانى أكسيد الكربون، وبالتالي يقل تركيز بيكربونات الصوديوم فى الدم حيث إن البيكربونات تتحد مع الصوديوم ليكون الناتج بيكربونات صوديوم.

ولا يؤدى التدريب الرياضى إلى زيادة معدل (PH) الدم أى تركيز أيونات الهيدروجين، وذلك بسبب المنظمات الحيوية (Buffers) حيث تقوم هذه المنظمات الحيوية بالحفاظ على درجة تركيز أيونات الهيدروجين فى الدم. أى تعادل بين أيونات الهيدروجين (H^+) وأيونات الهيدروكسيل (OH) وكلما زادت درجة تركيز (H^+) يصبح الدم حمضياً ويقل مستوى (PH)، والعكس إذا زاد مستوى (PH) يصبح الدم قلوياً، ومستوى (PH) الدم الشريانى أثناء الراحة (٧, ٤٠) بينما يبلغ مستوى (PH) الدم الوريدى (٧, ٣٥) نظراً لزيادة محتواه من حامض الكربونيك، ويساعد مستوى (PH) الدم عند مستوى (٧, ٣٥ - ٧, ٤٠) على قيام الجسم بالعمليات الفسيولوجية والتي من أهمها مقدرة الهيموجلوبين على نقل الاكسجين إلى الأنسجة.

تتوقف الزيادة فى إنتاج حامض اللاكتيك فى الدم على نوع العمل العضلى الذى يقوم به الفرد وشدة، فعندما يكون العمل العضلى متوسط الشدة ويتم فى ظل استخدام الاكسجين (Aerobic) لا يزداد إنتاج حامض اللاكتيك فى الدم، أما إذا كان العمل العضلى مرتفع الشدة ويتم فى غياب الاكسجين (Anaerobic) فيزداد تجمع حامض اللاكتيك فى الدم، وذلك كما يوضحه الشكل التالى:



شكل رقم (١٨)

تحلل الجلوكوز هوائيا ولا هوائيا

بعض المفاهيم عن حامض اللاكتيك

نظرا لكثرة استخدام حامض اللاكتيك في مجال فسيولوجيا الرياضة والتدريب الرياضي نقلق الضوء على بعض المفاهيم حتى يسهل علينا التعرف على المعاني المختلفة لكل منها.

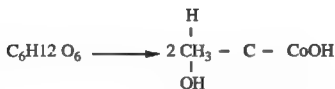
فعلى سبيل المثال مصطلح إنتاج حامض اللاكتيك *Production of lactic Acid* يرمز له بالرمز *Ra* ويمكن معرفة معدل إنتاجه لدى الفرد بالمليجرام / ١٠٠ مليلتر دم وذلك عن طريق تحليل الدم وهو عادة يتراوح في الفرد العادي من ٨-١٢ مليجرام/ ١٠٠ مليلتر.

وفي مقابل إنتاج حمض اللاكتيك تكون عملية إزالة حامض اللاكتيك أو التخلص منه تسمى (*Rate of diimination*) ويرمز لها بالرمز (*Bd*) ويسمى أحيانا معدل اختفاء أو تلاشي حامض اللاكتيك ويقاس بالتحليل التكنولوجي المتتالي أو التعاقب للدم.

ثم نجد بعد ذلك أن هناك استقرار حامض اللاكتيك أو ثبات مستوى حامض اللاكتيك، ويسمى *Steady State* ويرمز له بـ $Ra = Rd$ أي أن عمليات الإنتاج والتخلص متساوية وهذا يعنى ثبات مستواه.

إلا أن هناك عمليات إعادة التكوين والتي تسمى Rate Turnover ويرمز لها بالرمز Rt بمعنى أنه عندما يعاد إنتاج حامض اللاكتيك في الدم لدرجة يتساوى فيها معدل تكوينه مع معدل إزالته يرمز له بالرمز Rt أى يتساوى الإنتاج مع إعادة التكوين.
 $RT = Ra = Rd$

ويعرف اللاكتيك بأنه الناتج النهائي لعملية تحليل الجلوكوز بدون أكسجين ويرمز له بالرمز التالى:

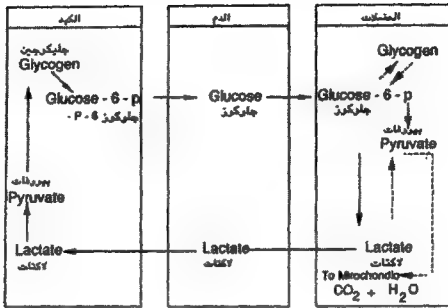


استخدام حامض اللاكتيك كمصدر للطاقة:

Use of Lactic Acid for Energy

يُنتج حامض اللاكتيك بواسطة العضلات الإرادية أثناء قيام الفرد بالعمل العضلى اللاهوائى وتتحول نسبة كبيرة من حامض اللاكتيك إلى البيروفات (pyruvate) التى تتكسر إلى ثانى أكسيد الكربون وماء ($CO_2 - H_2O$) بواسطة الميتوكوندريا (Mitochondria).

وعندما تزداد نسبة حامض اللاكتيك فى العضلات تخرج إلى الدم الذى يحملها بدوره إلى الكبد (Liver) والكبد بدوره يقوم بتحويل اللاكتات (Lactate) إلى بيروفات (pyruvate) عن طريق عمليات كيميائية متصلة تنتهى بتحويل البيروفات إلى جلوكوز ($glucose - 6p$) يذهب إلى الدم ثم يصل إلى العضلات لاستخدامه فى إنتاج الطاقة وذلك من خلال عمليات الجلوكزة أو يخزن على صورة جليكوجين (glycolysis or glycogen) أو ليظل كمخازن للطاقة فى العضلات وتعرف بدورة كورى (Cori Cycle) ما بين العضلات والكبد، وذلك كما يوضحه الشكل التالى:



شكل رقم (١٩)

دورة كوري لحمض اللاكتيك عن لامب (١٩٨٤)

تحلل الجلوكوز لاهوائيا، Anaerobic Glycolysis

تحلل الجلوكوز يعنى تكسيه إلى (٢) جزىء من حامض اللاكتيك كما يلى:

H

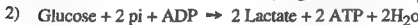


OH

"glucose"

Latic Acid

نلاحظ فى المعادلة أن عدد ذرات الكربون والهيدروجين والأكسجين فى طرفى المعادلة متساوى ثم يتحول هذا التفاعل إلى:

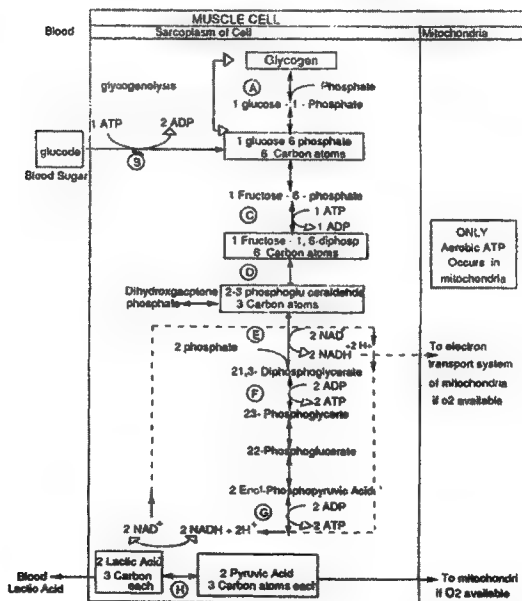


ماء + ثلاثى أدينوزين الفوسفات + لاکتات — ثنائى أدينوزين الفوسفات + فوسفات + جلوكوز.

فى المعادلة (١) الجلوكوز طاقته = ٤٧ كيلو كالورى

في المعادلة (٢) الجلوكوز طاقة ٣٢, ٤ كيلو كالوري
وبالنظر إلى المعادلة (٢) نجد أنها عبارة عن مجموعة عمليتين متصلتين ببعضهما،
الأولى هي تكسير الجلوكوز إلى (٢) جزء من حامض اللاكتيك. والثانية هي تكسير
(٢) جزء من مركب ATP تتكون من (٢) ADP + الفوسفات.

وبالنظر إلى المعادلة (٢) نجد أنها عبارة عن مجموعة عمليتين متصلتين ببعضهما، الأولى هي تكسير الجلوكوز إلى (٢) جزء من حامض اللاكتيك. والثانية هي تكسير (٢) جزء من مركب ATP تتكون من (٢) ADP + الفوسفات.



شکل رقم (۲۰)

تحلل الجلو كوز لاهوايا إلى لايكك عن (لامب LAMB ١٩٨٤

العتبة الفارقة اللاهوائية: Anaerobic Threshold - AT

استخدم مصطلح العتبة الفارقة اللاهوائية «Anaerobic Threshold» AT في مجال التدريب الرياضى للدلالة على حالة معينة من التعب يصل إليها اللاعب أثناء الأداء البدنى، وهذه الحالة تختلف من حيث توقيت ظهورها لدى اللاعبين تبعاً لحالتهم البدنية والوظيفية التى وصلوا إليها نتيجة عمليات التدريب المختلفة، وهى فى كل الأحوال تدل على زيادة الحمل البدنى سواء كانت هذه الزيادة فى مكون أو أكثر من مكونات الحمل البدنى، بمعنى أن زيادة شدة الحمل البدنى فقط يؤدى إلى ظهور حالة العتبة الفارقة اللاهوائية، وكذلك الزيادة فى حجم الحمل البدنى، كما أن اختصار فترات الراحة البينية التى تقع بين تكرارات الأداء تؤدى إلى ظهورها أيضاً؛ نظراً لأن قصر فترات الراحة سوف يعيق عمليات الاستشفاء، وبالتالي تتيح الفرصة لظهور حالة العتبة الفارقة اللاهوائية.

تناول والعديد من الباحثين والمهتمين بمجال فسيولوجيا التدريب الرياضى دراسة ظاهرة العتبة الفارقة اللاهوائية، وتعددت المفاهيم الخاصة بها، فيعرفها «أبو العلا ١٩٩٣م» بأنها ازدياد شدة الحمل البدنى الذى يزيد عندها معدل انتقال حامض اللاكتيك من العضلات إلى الدم بدرجة تزيد من معدل التخلص منه.

ويعرفها «ماتيو ز وفوكس Mathewes & Fox ١٩٧٩م» بأنها شدة الحمل البدنى أو استهلاك الأكسجين مع زيادة سرعة التمثيل الغذائى اللاهوائى، أو هى «شدة الحمل البدنى الذى يزيد من نسبة استهلاك الأكسجين مع زيادة سرعة التمثيل اللاهوائى فى العضلات الإرادية مما يزيد من تراكم حامض اللاكتيك فى تلك العضلات. «وفى تعريف آخر لهم» هى الملاحظات التى يتجمع فيها حامض اللاكتيك بدرجة مضاعفة أو أكثر من مضاعفة مما يؤخر فترة التخلص منه.

ويعرفها «لامب Lamb ١٩٨٤م» بأنها مستوى الحمل البدنى الذى يزيد عنده إنتاج الطاقة اللاهوائية من خلال نظام حامض اللاكتيك لزيادة تركيزه بالدم «أو هى نقطة انكسار التهوية الرئوية».

كما سبق يتبين أن العتبة الفارقة اللاهوائية لها اتصال مباشر بحامض اللاكتيك وبالتمثيل الغذائي للخلايا العضلية والحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين.

ويعرف حامض اللاكتيك كيميائياً بأنه الناتج النهائي لعملية تحلل الجلوكوز بدون أكسجين، ويرمز له بالرمز « $\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{COOH}$ ».

وعملية إنتاج حامض اللاكتيك تسمى Production of Lactic Acid ويرمز له بالرمز «RA» ويمكن معرفة معدل تركيزه بالدم لدى الفرد بالمليجرام / ١٠٠ مليلتر دم، وهو عادة يتراوح في الفرد العادي من ٨ - ١٢ ملليجرام / ١٠٠ مليلتر دم وقت الراحة، وفي مقابل إنتاج اللاكتيك تكون عملية التخلص منه أو إزالته، وتسمى Rat of Dissappearance ويرمز له بالرمز «RD» أما إذا استقر تركيز حامض اللاكتيك في الدم فيرمز له بالرمز $Ra = Rd$ بمعنى ثبات معدله بالدم وتسمى (Steady State).

يتضح من ذلك العلاقة التي تربط بين حالة العتبة الفارقة اللاهوائية وبين حامض اللاكتيك، وعلى ذلك فالعتبة الفارقة اللاهوائية هي مرحلة من مراحل الأداء البدني لها مواصفات خاصة بكل لاعب ولها علاقة كبيرة بنظم إنتاج الطاقة اللاهوائية، ولها علاقة أيضاً بكفاءة اللاعب البدنية وحالته التدريبية، وهي بالتالي تفرق بين لاعب وآخر في القدرة على مواصلة الأداء أو الحمل البدني، وهي من بين وسائل عديدة يمكن من خلالها الحكم على قدرات اللاعب الوظيفية والبدنية.

وقد توفرت لدى بعض العلماء والباحثين في أمريكا وأوروبا ممن يعملون في مجال فسيولوجيا الرياضة العديد من الدلائل والمعلومات حول موضوع العتبة الفارقة اللاهوائية؛ وذلك من خلال الأبحاث والدراسات التي تمت في هذا المجال، ومن بين هؤلاء «كونت وآخرين ١٩٨٣، Connete, et al ١٩٨٤م»، «بروكس وآخرين Brooks, et al ١٩٨٤م»، «هينجنهاوز وآخرين Heingenhauser, ١٩٨٣م»، «دوجلاس Doug-las ١٩٨٨م» وقد خلص هؤلاء إلى ما يعرف بحالة العتبة الفارقة اللاهوائية وتسمى Anaerobic Threshold ويرمز لها بالرمز AT، وهي الحالة التي تعمل فيها الأنسجة العضلية لاهوائياً أثناء الجهد البدني الأقل من الأقصى Submaximal، وعلى الرغم من

ذلك هناك بعض العلماء يرون أن حالة العتبة الفارقة اللاهوائية لا توجد في الأنسجة العضلية الإرادية والدم أثناء الجهد البدني الأقل من الأقصى، بل تكون في الجهد الأقصى فقط Maximal، ومعنى ذلك أن نظرية AT اختلف عليها العلماء من حيث توقيت ظهورها والجهد البدني الذي يؤدي إليها.

كما تناول بعض الباحثين العلاقة بين الحمل الأقصى وتركيز حامض اللاكتيك في الدم ويذكر «واسرمان وآخرون Waserman, et al ١٩٧٤م» أن زيادة حامض اللاكتيك في الدم يكون نتيجة قيام الفرد بالتدريب عند معدل منخفض من الأكسجين Hypoxia، كما أن استخدام كلمة لاهوائي Anaerobic دليل على أن كمية الأكسجين كانت غير كافية لتكوين الطاقة اللازمة للأنسجة العضلية العاملة».

وعلى ذلك تصبح عملية التمثيل الحيوي للطاقة أثناء تدريبات التحمل والسرعة غير متساوية؛ نظرا لاعتماد تدريبات وسباقات التحمل على نظم إطلاق الطاقة الهوائية عن طريق الأكسجين، في حين تعتمد تدريبات وسباقات السرعة على نظم إطلاق الطاقة اللاهوائية عن طريق المواد الفوسفاتية، وبالتالي تتأثر سرعة أو بطء ظهور حالة العتبة الفارقة اللاهوائية لدى هؤلاء اللاعبين بطبيعة كل مسابقة والتدريبات الفنية المرتبطة بها.

كما تقدم يتضح أننا أمام موضوع يستحق الدراسة وذلك للتأكد من صحة ما ذكره العلماء والباحثون من جهة ولدراسة العلاقة بين عمليات التمثيل الحيوي للطاقة والعتبة الفارقة اللاهوائية من جهة أخرى، وذلك لأهمية هذا الموضوع في مجال التدريب الرياضي وتأثيره على الأداء البدني للاعبين الرياضات والمسابقات والألعاب المختلفة؛ نظرا لأن التنوع بين تلك الرياضات والمسابقات والألعاب لابد أن يقابله تداخل في نظم إطلاق الطاقة الهوائية واللاهوائية، كما تختلف نسب مساهمة تلك الأنظمة أثناء التدريبات بطبيعة كل منها من حيث الشدة والحجم وفترات الراحة البينية.

وهذا ما دفع مؤلف هذا الكتاب (بهاء سلامة ١٩٩٣م) إلى إجراء دراسة بعنوان «العلاقة بين عمليات التمثيل الحيوي للطاقة والعتبة الفارقة اللاهوائية لدى لاعبي التحمل والسرعة».

وتكونت عينة البحث لهذه الدراسة من ٢٣ لاعبا منهم ١٢ لاعبا يمارسون تدريبات وسباقات التحمل (١٥٠٠، ٣٠٠٠، ٥٠٠٠ متر) و ١١ لاعبا يمارسون تدريبات السرعة (١٠٠، ٢٠٠، ٤٠٠ متر) وجميع أفراد العينة من لاعبي المنتخب الوطنى لالعاب القوى.

واستخدم المنهج التجريى لعينة البحث وقيست المتغيرات الفسيولوجية التالية: تركيز اللاكتات بالدم - معدل استهلاك الأكسجين - ضغط الدم - معدل النبض).

ولقياس العتبة الفارقة اللاهوائية استخدمت طريقة اختبار السير المتحرك (Treadmill Test) الذى وضعه هوجسن (Hughson ١٩٨٤) والذى يبدأ بسرعة ٦.٤ كيلو متر/ ساعة ثم تزداد السرعة كل ثلاث دقائق بمقدار ١.٦ كيلو متر/ ساعة، حتى تصل السرعة على التردميل إلى ١٤.٤ كيلو متر/ ساعة فى نهاية الاختبار عند الدقيقة الثامنة عشرة، كما تزداد زاوية ميل الجهاز بمقدار ٢٪ كل ثلاث دقائق.

أوضحت النتائج ما يلى:

- تحدث زيادة دالة معنويا فى معدل النبض بين لاعبي التحمل ولاعبي السرعة عند الوصول إلى حالة العتبة الفارقة اللاهوائية ولصالح لاعبي السرعة.

- تحدث زيادة دالة معنويا فى معدل ضغط الدم الانقباضى والانساطى بين لاعبي التحمل ولاعبي السرعة عند الوصول إلى حالة العتبة الفارقة اللاهوائية ولصالح لاعبي السرعة.

- يحدث انخفاض دال معنويا فى تركيز اللاكتات بالدم بين لاعبي التحمل ولاعبي السرعة عند الوصول إلى حالة العتبة الفارقة اللاهوائية ولصالح لاعبي التحمل.

- تحدث زيادة دالة معنويا فى معدل الاستهلاك النسبى للأكسجين بين لاعبي التحمل ولاعبي السرعة عند الوصول إلى حالة العتبة الفارقة اللاهوائية ولصالح لاعبي التحمل.

- أثبتت النتائج أن حالة العتبة الفارقة اللاهوائية تظهر متأخرة لدى لاعبي التحمل.

- أثبتت النتائج أن حالة العتبة الفارقة اللاهوائية تظهر مبكرة لدى لاعبي السرعة.

- حالة العتبة الفارقة اللاهوائية لها اتصال مباشر بنظم إطلاق الطاقة الحيوية بدلالة معدل تركيز اللاكتات بالدم والاستهلاك النسبي للأكسجين وضغط الدم الانقباضى والانبساطى ومعدل النبض.

- يوجد ارتباط عكسى غير معنى بين معدل الاستهلاك النسبي للأكسجين وتركيز اللاكتات بالدم لدى لاعبي التحمل.

- يوجد ارتباط عكسى معنى بين معدل الاستهلاك النسبي للأكسجين وتركيز اللاكتات بالدم لدى لاعبي السرعة.

- كلما ارتفعت الكفاءة البدنية تأخر ظهور حالة العتبة الفارقة اللاهوائية والعكس صحيح.

قام «جونسن ومكدويل Johnson & McDowell ١٩٩١م» بدراسة عن الاستجابة الفسيولوجية عند مستهل الإجهاد، وكان الهدف منها هو تحديد معدل استهلاك الأكسجين واستجابة معدل ضربات القلب وتركيز حامض اللاكتيك بالدم عند بداية فترة الإجهاد مع تحديد الفترة الزمنية اللازمة لحدوث الإجهاد، واشتملت العينة على عشرة لاعبين بلغ متوسط العمر ٢١,٠ سم والطول ١٧٩,٧ سم والوزن ٧٦,٩ كيلو جرام، واستخدم البساط المتحرك فى تلك التجربة.

تشير نتائج تلك الدراسة إلى أن مستوى الإجهاد حدث بعد الجرى لمسافة ١٤,٠٠٠ كيلو متر فى الساعة على البساط المتحرك حيث بلغ معدل القلب ١٩٧ ضربة/ دقيقة، وبلغ معدل استهلاك الأكسجين النسبى ٤٧,٥ مليلتر/ كجم/ ق فى حين بلغ معدل تركيز حامض اللاكتيك بالدم ١٤,٤ مليمول/ لتر/ دم، وتوضح النتائج أن مستوى الإجهاد مرتبط بمعدل استهلاك الأكسجين وتركيز اللاكتات بالدم، كما أن الوصول إلى حالة الإجهاد يرتبط بسرعة الجرى وفترة دوامه.

فى الدراسة التى أجراها «جامسر وبروكس Gasser & Brooks ١٩٨٤م»، للتعرف على تأثير شدة التدريب على تركيز حامض اللاكتيك بالدم باستخدام نوعين من الشدة، فعند الشدة المتوسطة (٥٠٪ من الـ $VO_2 Max$) تبين أن معظم اللاكتات الناتجة يتم التخلص منها عن طريق الأكسلة وعند استخدام شدة أقل من القصوى (٧٥٪ من الـ $VO_2 Max$) فإن معظم اللاكتات يتم إنتاجها بما يسمى Lactat Turnover حيث $RT = Ra = Rd$ وتظل نسبة الزيادة فى معدل إنتاج حامض اللاكتيك مرتبطة بشدة التدريب وبالتالي بعملية التمثيل الغذائى.

تشير نتائج الدراسة التى أجراها «دونوفان وآخرون Donovan, et al ١٩٨٣» للتعرف على نسبة الزيادة فى لاكتات الدم نتيجة التدريب البدنى متوسط الشدة، أظهرت النتائج أنه قد حدثت زيادة فى مستوى تركيز لاكتات الدم عند مستوى شدة من ٦٠-٧٠٪ (من $VO_2 Max$) وأن نسبة الزيادة فى إنتاجه تساوى نسبة الزيادة فى معدل إزالته أو التخلص منه، وتشير النتائج أيضا أنه عندما يزداد تركيز حامض اللاكتيك بالدم لدرجة تساوى خمسة أضعاف نسبته فى حالة الراحة فإن التدريب عندئذ يعتبر ذا شدة قصوى.

أجرى «لين ولاى Lien and Lai ١٩٨٢م» دراسة عن تركيز حامض اللاكتيك فى الدم وفترة التخلص منه أثناء عملية الاستشفاء، وقد أجريت الدراسة على عينة مكونة من «١٥» لاعبا بلغ متوسط أعمارهم ٢١,٦ سنة، متوسط الوزن ٦٢,٧ كجم، متوسط الطول ١٧١,٠٠ سم واستخدمت العينة اختبار «Bruce Protocol ١٩٧٣م» الجرى على البساط المتحرك Treadmill لمدة ٦٠ دقيقة، وتم قياس المتغيرات الفسيولوجية التالية: لاكتات الدم، معدل ضربات القلب، أقصى استهلاك للأكسجين، وتم متابعة تلك المتغيرات كل «٥» دقائق حتى «٦٠» دقيقة، أظهرت النتائج أن أقصى معدل للقلب بلغ ١٩٦ ضربة / دقيقة، وأقصى معدل نسبى لاستهلاك الأكسجين ٦٧ مليلتر/جم/ق، تركيز حامض اللاكتيك بالدم ١٣,٢ مليمول / لتر دم، وعن الفترة اللازمة للتخلص من حامض اللاكتيك أثناء عملية الاستشفاء تم متابعة معدل اللاكتات بالدم خلال ١٠,٥، ١٥,٢٠، ٢٠,٣٥، ٤٥ دقيقة حيث بلغ تركيزه بالدم ١٢,٨، ١٢,٧، ١١,٣، ٩,٩، ٧,٢، ٤,٤ مليمول/ لتر دم على الترتيب.

قام «بدرسن Pedersen ١٩٨٢م» بدراسة للتعرف على العلاقة بين أقصى استهلاك للأكسجين وبين تركيز حامض اللاكتيك بالدم عند أداء حمل بدنى أقل من الأقصى، واشتملت عينة الدراسة على ٥٠ فرد بلغ متوسط أعمارهم ٢٧,٢ سنة ومتوسط الطول ١٨١ سم ومتوسط الوزن ٧٠,١ كيلو جرام واستخدم الباحث العجلة الثابتة Ergometer بحمل ٢١٠ وات وبسرعة تبديل ٦٠ لفة/ دقيقة، واستمر العمل على العجلة الثابتة لمدة ٢٠ دقيقة، وأجريت التجربة فى الصباح دون تناول أفراد العينة أى طعام، أظهرت نتائج الدراسة أن معدل أقصى استهلاك نسي للأكسجين بلغ ٥٦ ملليلتر/ كجم/ دقيقة، بينما بلغ تركيز حامض اللاكتيك بالدم ١٢,٥ ملليمول/ لتر دم.

أجرى «كارلسون وآخرون Karlsson, et al ١٩٨٢م» دراسة عن استجابة ضغط الدم الانقباضى وزيادة لكتات الدم أثناء التدريب البدنى لدى الرياضيين وغير الرياضيين، وتكونت العينة من ٥٠ فردا منهم ٣٤ لا يمارسون التدريب الرياضى، و٢٦ يمارسون التدريب الرياضى، وبلغ متوسط العمر ٣٧ سنة ومتوسط الطول ١٧٨ سم ومتوسط الوزن ٧٢ كجم، واستخدمت العجلة الثابتة بحمل بدنى ٢٥ وات يزداد كل ٤ دقائق ٢٥ وات، وحدد المتغيرات الفسيولوجية فى ضغط الدم الانقباضى، معدل ضربات القلب، تركيز حامض اللاكتيك بالدم، أثبتت النتائج أن الحمل البدنى أدى إلى زيادة فى المتغيرات الفسيولوجية قيد البحث لدى الرياضيين حيث وصل ضغط الدم الانقباضى إلى ١٩١ مم/ رثيق، ومعدل ضربات القلب ١٥٤ ضربة/ دقيقة، وتركيز حامض اللاكتيك بالدم ١٤٥ ملليجرام/ %، بينما بلغت الزيادة فى تلك المتغيرات لدى غير الرياضيين إلى: وصل معدل ضغط الدم الانقباضى إلى ٢١٠ مم/ رثيق، معدل ضربات القلب إلى ١٦٨ ضربة / دقيقة، وتركيز حامض اللاكتيك بالدم ١٦٤ ملليجرام/ %، وأفادت الدراسة أن تأثير الجهد البدنى على الرياضيين مقارنة بغير الرياضيين أقل من ناحية ضغط الدم، معدل ضربات القلب، تركيز اللاكتيك بالدم، مما يؤكد دور الممارسة فى تحسين الحالة الوظيفية لدى الرياضيين.

يشير هوجس Hughes ١٩٧٩م إلى أن معدل تركيز اللاكتات بالدم يزداد بزيادة شدة التدريب وتصاحب، تلك الزيادة زيادة في معدل الحد الأقصى لاستهلاك الأكسجين أكثر من معدل شغل بدني متوسط أو منخفض.

كما أُنشئت معظم الدراسات التي تناولت دراسة العلاقة بين زيادة تركيز حامض اللاكتيك بالدم والتدريب الرياضي أنه توجد علاقة ذات دلالة معنوية بين T (Vent) أى انكسار التهوية الرئوية وبين T (Lact) أى تكوين اللاكتات بالدم أثناء العمل البدني، وترجع أسباب العلاقة بين انكسار التهوية الرئوية وتجميع اللاكتات بالدم إلى العلاقة التي تربط استهلاك الأكسجين بالتهوية الرئوية، لأنه تحدث زيادة في استهلاك الأكسجين والتهوية الرئوية أثناء الحمل البدني حتى يصل معدل القلب إلى حوالي ١٥٠ ضربة/دقيقة، ثم يزداد معدل القلب وكذلك استهلاك الأكسجين لدرجة يصل فيها معدل القلب إلى ١٧٠ ضربة / دقيقة، وعندما يزداد تركيز حامض اللاكتيك بالدم بدرجة تفوق القدرة على التخلص منه.

وتشير نتائج الدراسة التي قام بها واسرمان وآخرون Wasserman, et al ١٩٦٤م أن زيادة حامض اللاكتيك بالدم تكون نتيجة قيام الفرد بالتدريب عند معدل منخفض من الأكسجين وأن استخدام كلمة لاهوائي دليل على أن كمية الأكسجين كانت غير كافية لتكوين الطاقة اللازمة للعضلات العاملة، وبالتالي فهي تحتاج إلى الأيض الهوائي.

ويشير (شفرود وآخرون Sheperd, et al ١٩٨١) إلى وجود أعضاء حسية طرفية سماها إرجوسبتور (Ergoreceptors) أى المستقبلات، وهي تزيد من نشاط الجهاز الدوري المركزي (Central Circulation) مما يزيد من تمدد الأوعية الدموية الطرفية، كما أضاف أن هذه المستقبلات تتفاعل مع كل من زيادة تركيز البوتاسيوم، نقص PH الدم ولاكتات الدم.

ويذكر (كارلسون وآخرون KARLESSON, et al ١٩٨٢) عن حامض اللاكتيك وتنشيطه للعوامل السابقة (PH)، (تركيز البوتاسيوم) أى نقص كمية الأكسجين قد يؤدي

إلى زيادة تركيز اللاكتيك وتنشيط الجهاز السمبثاوى (زيادة الإدرنالين) وزيادة ضغط الدم، ويضيف أيضا أنه توجد علاقة بين زيادة مستوى ضغط الدم ونوع العضلات الغنية باللالياف السريعة.

نستنتج مما سبق أن هناك علاقة بين كل من:

- زيادة تركيز اللاكتيك يصاحبه زيادة فى ضغط الدم.
 - زيادة تركيز اللاكتيك يصاحبه تمدد الاوعية الدموية الطرفية.
 - زيادة تركيز اللاكتيك يصاحبه زيادة نشاط الجهاز السمبثاوى.
 - زيادة تركيز اللاكتيك يصاحبه زيادة فى مستوى تركيز البوتاسيوم.
 - زيادة تركيز اللاكتيك يصاحبه نقص فى معدل (PH).
- وهذه العوامل تؤدي إلى قلة تشبع الهيموجلوبين بالاكسجين مما يؤدي إلى نقص كمية الاكسجين الواردة للعضلات فيتسبب عنه التعب العضلى.



الفصل التاسع

عمليات الاستشفاء



- مقدمة:
- تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات.
- سرعة تكوين الفوسفات.
- طاقة تجديد الفوسفات.
- تجديد مخازن الجليكوجين بالعضلات.
- جليكوجين الكبد والعضلات.
- سرعة امتلاء العضلات بالجليكوجين.
- امتلاء المايوجلوبيين بالأكسجين.
- امتلاء مخازن أوكسيمايوجلوبيين.
- الأوكسيمايوجلوبيين والدين الأكسجيني.
- التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم.
- سرعة التخلص من حامض اللاكتيك.
- تأثير التمرينات على التخلص من حامض اللاكتيك.
- فترات الاستشفاء في التدريب الرياضي.
- مستخلص عمليات الاستشفاء.



عمليات الاستشفاء، Recovery Process

المقدمة:

يعتبر علم فسيولوجيا التدريب الرياضى (Exercise Physiology) أو فسيولوجيا الرياضة (Sports Physiology) من العلوم الأساسية الهامة فى مجال الرياضة والتدريب الرياضى، وقد أسهم هذا العلم مع غيره من العلوم فى تطوير طرق التدريب وتقنين أحواله لتكون أكثر ملاءمة لقدرة الجسم على تحمله والاستفادة من تأثيراته الإيجابية وتجنب التأثيرات السلبية على الحالة الوظيفية والصحية للرياضى، وقد دلت نتائج الدراسات العلمية على أن تشكيل حمل التدريب دون دراسة تأثيراته الفسيولوجية على أعضاء وأجهزة الجسم يؤدى فى كثير من الأحيان إلى الإصابات الرياضية والمشكلات المرضية التى تظهر خلال الموسم الرياضى.

ويعد علم فسيولوجيا التدريب الرياضى أحد العلوم الهامة الذى يعطى وصفا وتفسيرا دقيقا لمختلف التغيرات الناتجة عن أداء التدريب لمرة واحدة أو لعدة مرات بغرض تحسين استجابة الجسم وأن الكشف عن تلك الاستجابات له أهميته فى هذا المجال، فإذا كان الهدف هو وصف وتفسير تلك التغيرات الفسيولوجية عند أداء الحمل البدنى لمرة واحدة فإننا نطلق على تلك التغيرات مصطلح الاستجابات (Responses) وهى تغيرات مؤقتة فى وظائف الجسم نتيجة الحمل البدنى، وتختفى تلك التغيرات بانتهاء الحمل البدنى ومن أمثلة هذه الاستجابات زيادة معدل ضربات القلب وزيادة معدل التنفس وغير ذلك، أما إذا تكرر الحمل البدنى عدة أسابيع أو شهور فحين التغيرات المصاحبة لهذا الحمل يطلق عليها مصطلح التكيف (Adaptation) ويتميز عن الأولى فى أنها تساعد الجسم على أداء الحمل البدنى بسهولة أكبر ومقدرة أعلى، ولا يتحقق التكيف إلا بعد مرور فترة كافية من التدريب المنتظم، ومن أمثلة هذا التكيف نقص فى معدل ضربات القلب وقت الراحة.

وتعد عملية الاستشفاء (Recovery) «أو الاسترداد» بعد أداء التدريب البدنى فى غاية الأهمية لجميع الرياضيين وهى تشغل المهتمين فى هذا المجال، مما دفع العديد من الباحثين إلى إجراء الدراسات المتعلقة بهذا الموضوع، وكان فى الماضى من غير المؤلف أو المتشاد التدريب يوميا وكان من غير المؤلف أيضا وضع برامج تدريبية مختلفة للاعبين

الفريق الواحد فى الالعاب الجماعية مثلا على اعتبار أن الفريق كان يخضع لبرنامج تدريبى واحد وأن برامج التدريب الفردية تخص لاعبى الالعاب الفردية فقط، وكان متبعا أيضا أن يكون بين كل يوم تدريبى يوم راحة ولم يكن علم التدريب الرياضى قد وصل إلى ما هو عليه الآن.

وبعد التقدم الذى طرأ على علم التدريب الرياضى فى الآونة الأخيرة والتطور فى أساليب قياس وتقويم النواحي البدنية والوظيفية وتسجيلها فى حالة الراحة وأثناء أداء الحمل البدنى وانتشار طرق قياس الكفاءة البدنية فى الظروف المعملية والطبيعية مما ساعد فى الكشف على الإمكانيات الوظيفية لأجهزة الجسم، وبعد التطور السريع فى علوم الطب الرياضى وفسيولوجيا التدريب الرياضى أصبحنا نرى فى هذا العصر العديد من الفرق الرياضية الجماعية والفردية تتدرب لأكثر من مرة فى اليوم الواحد حيث وصلت عدد الوحدات التدريبية الأسبوعية إلى حوالى من ١٥-٢٦ مرة، وقد أشار ذلك فى البداية دهشة واستغراب كثير من العاملين فى مجال التدريب الرياضى.

وبمتابعة نتائج المسابقات «أزمة - مسافات - ارتفاعات» التى كانت تسجل منذ عشرين سنة تقريبا فى الالعاب الفردية ومقارنتها بالنتائج التى تسجل حاليا نلاحظ الفارق الكبير بينهما، وبالنظر إلى طرق وخطط اللعب فى الالعاب الجماعية نلاحظ الفارق فى تلك الطرق والخطط مما زاد من سرعة الأداء وفاعليته، وينطبق ذلك على جميع الرياضات والمنارات؛ الأمر الذى أدى إلى فروق جوهرية بين ما كانت عليه نتائج الماضى ونتائج العصر الحالى، ويرجع الفضل فى ذلك إلى اعتماد علم التدريب الرياضى على العلوم المختلفة التى تستخدم الأداء الرياضى مما ساعد فى تطوير قدرات اللاعبين، الأمر الذى انعكس إيجابيا على كفاءتهم البدنية والوظيفية.

وكان من بين العوامل الهامة التى ساعدت على تطوير طرق التدريب الرياضى وتقنين أحمال التدريب الاهتمام بعمليات الاستشفاء أو الاسترداد «Recovery Pro-cess» بعد الجهد البدنى، وهذا مادفع كثير من الدارسين والباحثين إلى إجراء الدراسات الخاصة بهذا الموضوع للتعرف على تأثير أنواع الأحمال التدريبية على مخازن الطاقة بالدم والعضلات والتى تؤثر على مقدرة اللاعب واستمراره فى الأداء.

أجريت بعض الدراسات العربية في هذا المجال واقتصرت على تناول عمليات الاستشفاء من خلال تتبع معدل بعض المتغيرات الفسيولوجية حتى تعود لحالتها أثناء الراحة مثل معدل سرعة القلب Heart Rate ، النبض الأكسجيني Oxygen Pulse ، معامل التهوية الرئوية The Ventilatory Equivalent ، ضغط الدم Blood Pressure وغيرها من المتغيرات التي يستدل منها على عودة معدلها إلى ما كانت عليه قبل بذل الجهد البدني .

بينما تناولت بعض الدراسات الأجنبية عملية الاستشفاء على أساس تعويض مصادر الطاقة بالعضلات والدم على اعتبار أن مخزون الطاقة يمثل حجر الزاوية في عملية الاستشفاء وعليه يتأسس قدرة اللاعب أو عدم قدرته على تكرار التدريب ، ومن ثم لتحديد الفترات الزمنية اللازمة للاستشفاء بين وحدات التدريب المختلفة ، وكذلك نظام تغذية اللاعبين بعد التدريب والتي تسهم في سرعة تعويض مصادر الطاقة بالدم .

تشير نتائج عديد من الدراسات التي أجريت إلى أن الأجهزة الحيوية تختلف في طريقة استعادة الاستشفاء لتعبر عن مستوى الكفاءة الوظيفية للفرد ، حيث تقل زيادة نسبة التنفس خلال فترات استعادة الاستشفاء لدى لاعبي الجيمبار «الدرجة الأولى» عن «الدرجة المفتوحة» وأنه خلال الدقيقة الثانية والثالثة من الاستشفاء وصلت نسبة التنفس لدى لاعبي الدرجة الأولى إلى متوسط ١,٠٤ واستمر التناقص بعد الدقيقة الثالثة من فترة الاستشفاء حيث بلغ ٢,٩٥ وأن وصول اللاعب لمستوى أكثر من ١,١ بعد نهاية الدقيقة السادسة من فترة الاستشفاء يعتبر مؤشرا على ضعف الكفاءة الوظيفية ، كما أشارت النتائج إلى قلة زيادة معدل سرعة النبض لدى لاعبي الدرجة الأولى عنه لدى لاعبي الدرجة المفتوحة خلال مراحل استعادة الاستشفاء .

وفي دراسة سيرا وآخرين «Serra, et al» ١٩٩٤ عن التداخل والتكامل لبعض القياسات الفسيولوجية خلال الأداء البدني في فترة الاستشفاء أسفرت نتائج الدراسة عن وجود علاقة إيجابية بين القيم المحسوبة والقيم المتوقعة للمتغيرات الفسيولوجية خلال الأداء البدني وخلال فترة استعادة الاستشفاء لدى عينة البحث .

ويشير كل من علاوي ، أبو العلا ١٩٨٤ إلى أن مخزون الفوسفات يتم تعويضه خلال فترة قصيرة تقدر بحوالي ٣-٥ دقائق ، كما يستغرق التعويض الكامل لمخزون

الجليكوجين عدة أيام، ويعتمد ذلك على نوع النشاط البدني وكمية الكربوهيدرات المستهلكة خلال فترة الاستشفاء وبالنسبة لسرعة التخلص من حامض اللاكتيك فقد دلت نتائج الدراسات أن عدة ساعات تكفي لإزالة معظم حامض اللاكتيك بعد أداء التدرينات ذات الشدة القصوى، ومن العوامل التي تزيد من سرعة التخلص من حامض اللاكتيك أداء تمرينات بدنية خفيفة خلال مرحلة الاستشفاء وتسمى بتمرينات التهدئة أو تمرينات الاستشفاء.

ويذكر فوكس «Fox» ١٩٧٠، «ماتيزور» «Mathews» ١٩٨١ أن نوع التمرينات البدنية له ارتباط كبير بعمليات الاستشفاء حيث ثبت أن التمرينات الشديدة دون فترات راحة كافية تؤخر من سلسلة تجديد الفوسفات وسرعته بينما التمرينات المتوسطة مع فترات الراحة الكافية تساعد على تجديد الفوسفات، وأثبتنا أيضا أن التمرينات المستمرة لمدة ساعتين أدت إلى خفض نسبة الجليكوجين بالعضلات للدرجة كبيرة أثناء فترة الاستشفاء واختلقت سرعة امتلاء العضلات بالجليكوجين بناء على نوع الغذاء الذي يتناوله اللاعب عقب الأداء مباشرة.

ويشير ديفريس «Devries» ١٩٨١ إلى تعدد مراحل استعادة الاستشفاء حيث في العمل البدني البسيط تكون فترات الاستشفاء مبكرة تنتهي خلال دقائق، بينما تستمر بعد العمل البدني المتوسط لبضع ساعات وتكون المرحلة المتأخرة للاستشفاء بعد الحمل البدني الشديد والتي تتعدى بضعة أيام، وأن هناك اختلافا في وظائف الأجهزة الحيوية بالجسم وفي مستوى استعادتها للاستشفاء من حيث انخفاضها وارتفاعها.

ولما كانت فترة الاستشفاء «الاسترداد» بعد الجهد البدني ضرورية ولازمة لكي تعود فيها أجهزة الجسم إلى الحالة الطبيعية ليتم تعويض المخزون من مصادر الطاقة بالعضلات والدم فهي بذلك تعتبر وسيلة هامة لتقويم الكفاءة الوظيفية للفرد الرياضي من خلال سرعة العودة إلى مستوى ما قبل بذل الجهد البدني.

وللاستفادة من عمليات الاستشفاء في مجال التدريب الرياضي نطرح التساؤلات التالية:

(١) ما هي الحقائق العلمية الخاصة بعمليات الاستشفاء لبعض مواد الطاقة بالدم والعضلات بعد أداء الجهد البدني؟

(٢) كيف يمكن الاستفادة منها في عمليات التدريب البدني لتحسين القدرات البدنية والوظيفية للرياضيين؟

وسوف نتناول تحليلا نظريا للإجابة على التساولين السابقين من خلال الأبعاد الأربعة التالية:

البعد الأول: تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات:

Restoration of Muscles Phosphagen Stores:

البعد الثاني: تجديد مخازن الجليكوجين بالعضلات:

Restoration of Muscle Glycogen Stores:

البعد الثالث: امتلاء المايوجلوبين بالأكسجين:

Replenishment of Myoglobin and Oxygen:

البعد الرابع: التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم:

Removal of Lactic Acid From Muscle and Blood:

وكل بعد من تلك الأبعاد يشتمل على عدة نقاط فرعية تسهم بدرجة معينة في زيادة قدرة الفرد الرياضي على بذل الجهد البدني، كما يؤثر أيضا في تشكيل برامج التدريب اليومية والأسبوعية على مدار الموسم الرياضي.

البعد الأول: تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات:

Restoration of Muscle Phosphagen Stores:

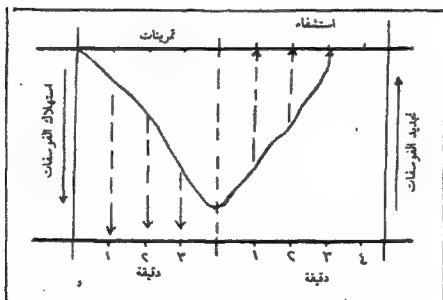
يوجد في خلايا الجسم مركب كيميائي يسمى ثلاثي أدينوزين الفوسفات «Adenosin Triphosphate» ويرمز له بالرمز (ATP) ويتكون من المواد الكربوهيدراتية والبروتينية بالإضافة إلى المجموعة الفوسفاتية، وتقوم خلايا الجسم بوظيفتها اعتمادا على الطاقة الناتجة عن انشطار هذا المركب الكيميائي حيث يؤدي انشطار أحد مكونات المجموعة الفوسفاتية إلى إنتاج كمية من الطاقة ليصبح المركب بعد ذلك ثنائي الفوسفات «Adenosin Diphosphate» ويرمز له بالرمز (ADP) إلا أن كمية (ATP) المخزون في العضلة قليل جدا ولا تكفي لإنتاج طاقة تتعدى بضعة ثوان، ولذلك فإنه يتم بصفة مستمرة إعادة بناء (ATP) وعند ذلك تتحرر كمية من الطاقة تعمل على استعادة بنائه مقابل انشطار فوسفات الكرياتين (PC).

ويؤدي النظام الفوسفاتى إلى زيادة الطاقة بالعضلات الإرادية خلال الثانى الأولى من النشاط البدنى وعملية التجديد والبناء لمركبات الفوسفات معقدة ومركبة وهى تؤثر فى الأداء وتتأثر به وهى فى غاية الأهمية لجميع الرياضيين.

ويختلف مقدار الفوسفات لدى الرجال والنساء حيث يبلغ مقداره لدى الرجال حوالى ٠,٦ مول. بينما لدى النساء حوالى ٠,٣ مول.

سرعة تكوين الفوسفات: Speed of Phosphagen Replenishment

يذكر كل من برجستروم «Bergstrom ١٩٨١»، سالتين «Saltine ١٩٦٧»، وفوكس، «Fox ١٩٧٠» أن ممارسة التمرينات البدنية أدت إلى انخفاض معدل ATP بعد العمل لمدة ثلاث دقائق، وملاحظة تركيز الفوسفات اتضح أنه يزداد مرة أخرى بعد التوقف عن العمل وخلال فترة الاستشفاء حيث يصل إلى قمته بعد مرور حوالى ثلاث دقائق، وبعد تلك الفترة يكون تركيز الفوسفات بالعضلات قادرا على إطلاق الطاقة مرة أخرى عند قيام اللاعب بالأداء مرة ثانية.



شكل رقم (٢١) سرعة تكوين الفوسفات بعد التمرينات

والحقيقة أن عملية تجديد الفوسفات تسير بإيقاع سريع جدا كل ثانية تقريبا، وقد تم قياس سرعة التجديد واتضح أن الثانى الأولى هى التى تكون فيها سرعة التجديد

أعلى بكثير من الفترات التالية لها، ومعنى ذلك أن عملية التجديد عبارة عن سلسلة متتالية ومعقدة، وتختلف النسبة حسب الوقت، أى يختلف تركيز الفوسفات بمخازنه تبعاً للوقت المتبقى بعد أداء التمرينات، وعلى ذلك فإنه عند تكرار التدريب يجب مراعاة هذه الناحية، أى أن تحدد فترات الراحة البينية بناء على ذلك، وخلاصة ذلك فإن عملية تجديد الفوسفات بعد التمرينات تبلغ حوالى ٥٠٪ خلال ٣٠ ثانية من وقت الاستشفاء ثم تزداد إلى ٧٥٪ خلال ٦٠ ثانية من وقت الاستشفاء وتصل إلى حوالى ٩٨٪ خلال ثلاث دقائق بعد الانتهاء من التمرينات.

والجدول التالى (٨) يوضح سرعة تجديد الفوسفات ونسبته المثوية

وقت الاستشفاء	تكوين الفوسفات بالعضلات
أقل من ١٠ ثوان	قليل جداً
٣٠ ثانية	٥٠٪
٦٠ ثانية	٧٥٪
٩٠ ثانية	٨٧٪
١٢٠ ثانية	٩٣٪
١٥٠ ثانية	٩٧٪
١٨٠ ثانية	٩٨٪

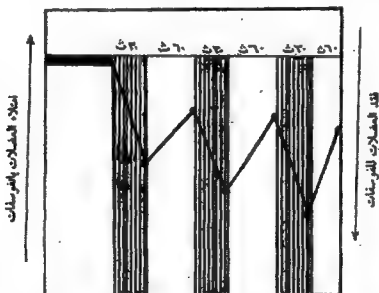
وترتبط عملية الاسترداد بنوع التمرينات حيث أثبت كل من فوكس «Fox» ١٩٧٠ ودريسندورفر «Dressendorfer» ١٩٩١ أن التمرينات الشديدة المتتالية دون فترات راحة كافية تؤخر من سلسلة تجديد الفوسفات وسرعته، بينما التمرينات المتوسطة والتي بها فترات راحة كافية تساعد على تجديد الفوسفات، ويعتقد البعض أن تنظيم فترات الراحة تحسن من سلسلة تجديد مخازن الفوسفات الذى يعتبر من المواد الرئيسية التى تؤثر على مقدرة العضلات على الاستمرار فى بذل الجهد وهو يؤثر فى عمليات ظهور التعب حيث يعمل على تأخير ظهوره، وكلما تمت العناية بفترات الراحة بين تكرارات العمل العضلى أدى ذلك إلى إعادة تجديد مخازن الفوسفات فى العضلات الإرادية حيث توجد علاقة

بين عملية فقد وامتلاء العضلات بالفوسفات، وهذه العلاقة تتأثر بفترات الراحة التي تعقب الأداء العضلي.

تشير الدراسة التي أجراها «هوش وآخرون» Housh, et al ١٩٩٢ حول عملية فقد «Depletion» وعملية ملء «Repletion» العضلات بالفوسفات في غضون التمرينات المتقطعة، حيث استخدم الباحث جهدا بدنيا على العجلة الأرجومترية لمدة ٣٠ ثانية ثم أعقبها راحة يينية لمدة ٦٠ ثانية فقط، وكانت النتيجة هي استمرار فقد الفوسفات؛ نظرا لأن فترات الراحة الينية لم تكن كافية لعملية إعادة تكوين الفوسفات بالعضلات.

طاقة تجديد الفوسفات: Energetics of Phosphagen Replenishment

يشير هيرمانسين «Hermansen» ١٩٦٧، أستراند «Astrand» ١٩٦١، كارلسون «Karleson» ١٩٧١ إلى أن عملية تجديد الفوسفات بالعضلات والتمثلة في $ATP + PC$ خلال فترات الاستشفاء من التمرينات البدنية تتطلب قدرا من الطاقة لإتمام عمليات التجديد، وهذه الطاقة تستمد من أكثر من جزء من نظام الأكسجين الخاص بعملية تكسير وتحلل المواد الكربوهيدراتية والدهنية ويتم هذه العملية مرتبطة بنظام حامض اللاكتيك الذي يتطلب قدرا من الطاقة.



شكل رقم (٢٢) يوضح فقد وامتلاء العضلات بالفوسفات

ويلاحظ أن جزءاً من ATP يتم إنتاجه من مخازنه مباشرة في العضلات وبعضه الآخر يتكسر مع الطاقة التي تطلق متأخرة قليلاً والتي تستخدم فيها مركبات فوسفات الكرياتين PC، حيث لا يستمد طاقته من المواد الغذائية مباشرة مثلما تحدث لمركب ATP أثناء فترة الاستشفاء حيث يتبع مباشرة من العضلات، بينما مركب PC أثناء فترة الاستشفاء يتبع بواسطة نظام الأكسجين ونظام حامض اللاكتيك.

ويتأثر الأكسجين اللازم لتجديد مركبات الفوسفات بنسبة استهلاكه في الفترات المبكرة من فترة الاستشفاء، وجميعنا يلاحظ ذلك حيث يزداد التنفس في عمقه وتكراره بعد الانتهاء مباشرة من التمرينات البدنية ثم يقل تدريجياً مع طول فترة الاستشفاء، وهذا في حد ذاته يساعد على تجديد مركبات الفوسفات كرياتين.

هذه الزيادة في عمق وتكرار التنفس يتبعها زيادة في استهلاك الأكسجين، وهذا ما يطلق عليه الدين الأكسجيني Oxyphen debt السريع؛ نظراً لأن الفترة التالية لهذه الفترة تعرف أيضاً بالدين الأكسجيني ولكنها تكون أبطأ وفيها يعاد تجديد مركبات أخرى، وفيها أيضاً يتم تخليص الجسم من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم، وتجدر الإشارة إلى أن ما نقصده بزيادة عمق وتكرار التنفس هو الزيادة في معدل التنفس «Rate» وعمقه «Depth» وعدد ضربات القلب «Heart Rate» وكذلك كمية الدم المدفوعة «Cardiac Output» ودرجة حرارة الجسم «Body Temperature».

البعد الثاني: تجديد مخازن الجليكوجين بالعضلات:

Restoration of Muscle Glcogen Stores:

يقوم الجليكوجين بدور هام في العضلات عند بذل الجهد البدني مختلف الشدة حيث تتأثر الممارسة، وبذل الجهد على توافر الجليكوجين بالعضلات، ويعتبر الجليكوجين Glycogen المادة الكربوهيدراتية التي يخزنها الإنسان لوقت الحاجة وهو يتواجد في الكبد والعضلات.

- جليكوجين الكبد والعضلات: Muscle and liver Glycogen

يشير لامب «Lamb» ١٩٨٤ إلى أن الجليكوجين يوجد في الكبد والعضلات بنسب مختلفة حيث تبلغ كميته في الكبد حوالي ١٢٠، جرام بينما يصل إلى ٣٥٠ جرام داخل العضلات، وعلى ذلك تكون نسبته في العضلات أعلى من الكبد، وجليكوجين الكبد يعتبر مصدرا رئيسيا من مصادر الجلوكوز بالدم حيث يتحول الجليكوجين إلى جلوكوز بسبب بعض التفاعلات الكيميائية الخاصة بالكبد، ويلاحظ أن الجليكوجين الموجود في العضلات يتحول إلى حامض اللاكتيك Lactic acid في حالة الأكسدة اللاهوائية Anaerobic بينما في الكبد يتحلل الجليكوجين بفعل عمليات كيميائية إلى حامض البيروفك «Pyruvic acid».

- سرعة امتلاء العضلات بالجليكوجين:

Speed of Muscle Glycogen Replenishment:

في خلال الثلاثين سنة الأخيرة أجريت عدة دراسات عن هذا الموضوع وهي تعكس الاهتمام الكبير حول كيفية امتلاء مخازن الجليكوجين وسرعته والعوامل التي تؤثر بصورة مباشرة وغير مباشرة على ذلك.

ويشير كل من استراند «Astrand» ١٩٦١، سالتين «Saltine» ١٩٦٧ كارلسون «Karlesson» ١٩٨٢، توماس «Thomas» ١٩٩٢ في دراساتهم حول هذا الموضوع أن هناك عدة عوامل تؤثر في معدل ومقدار كمية جليكوجين العضلات أثناء ساعات الاستشفاء من التمرينات البدنية، وقد تحدت أهم هذه العوامل في نوع الغذاء الذي يتناوله اللاعب بعد ممارسة التمرينات البدنية وشدة وحجم التمرينات التي يؤديها، وهذا يشير إلى أن برامج إعداد اللاعبين سواء في نوعية التدريبات أو في برامج الغذاء تؤثر بشكل مباشر في قدرته على الاستمرار في بذل الجهد البدني سواء عند التدريب أو أثناء المنافسات، وهي أيضا تعكس أهمية إلزام المدرب بالأسس العلمية التي يجب أن تتبع في

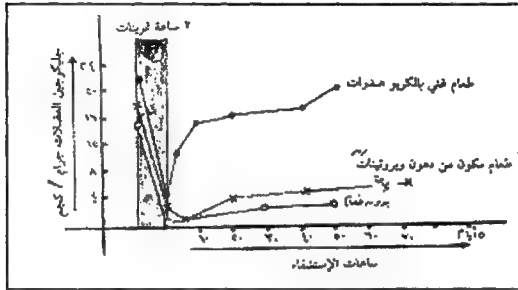
هذا الموضوع، ويجب الأخذ بها واتباعها لكي تساعد اللاعب في رفع مستواه البدني والمهاري.

وقد اتفقت الدراسات الحديثة (كارلسون Karlessom ١٩٧٢، توماس Thomas ١٩٩٧) على أهمية الغذاء في سرعة امتلاء العضلات بالجليكوجين بعد التمرينات البدنية، وقد أجريت تجربة وهي عبارة عن أداء تمرينات لمدة ساعتين وتنتصف بالاستمرارية «هوائية» حيث تعمل على خفض نسبة الجليكوجين بالعضلات للدرجة كبيرة، وبعد الانتهاء من التجربة وأثناء ساعات الاستشفاء اختلفت سرعة امتلاء العضلات بالجليكوجين بناء على نوع الغذاء الذي تناوله اللاعبون عقب الأداء مباشرة، وأثبتت النتائج أن مجموعة اللاعبين التي تناولت كربوهيدرات كافية بعد التمرينات أدت إلى امتلاء العضلات بالجليكوجين بعد ٤٨ ساعة فقط، بينما المجموعة التي تناولت بروتينات ودهون بعد التمرينات لوحظ عدم امتلاء عضلاتهم بالجليكوجين بعد نفس الفترة الزمنية (٤٨ ساعة) في حين أن المجموعة الثالثة من اللاعبين لم تتناول أى طعام، وقد أدى ذلك إلى ضعف شديد في تركيز الجليكوجين بعضلاتهم، وقد أجريت هذه التجربة على لاعبي رياضات والعباء مختلفة إلا أن النتائج كانت متقاربة فيما يتعلق باستنزاف الجليكوجين وسرعة امتلاء العضلات به، وقد خلصت نتائج الدراسات التي أجريت عن هذا الموضوع إلى التالي:

- تقل الفترة الزمنية اللازمة لامتلاء العضلات بالجليكوجين في حالة تناول اللاعبين كربوهيدرات بصورة مركزة.
- تزداد الفترة اللازمة لامتلاء العضلات بالجليكوجين في حالة عدم تناول اللاعبين مواد كربوهيدراتية مناسبة.
- المفقود من جليكوجين العضلات يعاد امتلاؤه مرة ثانية بانتظام بعد مرور خمسة أيام إذا لم يتناول اللاعب كربوهيدرات بصورة كافية.

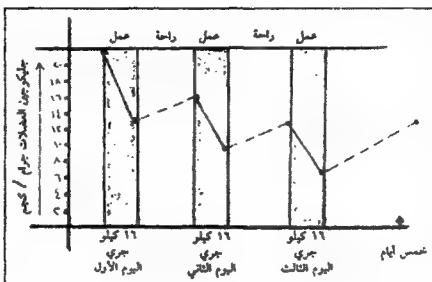
- في حالة تناول كميات مضاعفة من الكربوهيدرات يتم امتلاء العضلات بالجليكوجين بعد ٢٤ ساعة.

- يكون امتلاء العضلات بالجليكوجين سريعا جدا في العشر ساعات الأولى من عملية الامتشاف.



شكل رقم (٢٣) تأثير أنواع الطعام على الجليكوجين

ومن بين أهم الدراسات التي أجريت حول هذا الموضوع ما ذكره فوكس «Fox» ١٩٧٠ حيث أجريت تجربة اشتملت على مجموعة من لاعبي التحمل قاموا بالجرى لمسافة ١٦ كيلو مترا في يوم، ثم حصل اللاعبون على راحة في اليوم التالي، ثم تكرر الأداء في اليوم الثالث ثم حصل اللاعبون على راحة في اليوم الرابع، وهكذا لمدة ثلاثة أيام، وعلى الرغم من أنهم كانوا يتناولون كميات مناسبة من الطعام المختلط (كربوهيدرات، دهون، بروتين) خلال أيام الجرى إلا أن تركيز الجليكوجين في العضلات أخذ يتناقص يوما بعد يوم ولم يصل تركيزه في العضلات إلى المستوى الذي كان عليه قبل بدء التجربة.



شكل رقم (٢٤) تأثير الجري يوم بعد يوم على تجديد مخازن المايوجلوبين

كما اوضحت بعض الدراسات «برجستروم» «Bergstrom» ١٩٩٧، «ولف» «Wolfe» ١٩٨٦، أن استنزاف المايوجلوبين من العضلات يختلف من رياضة لأخرى أو لعبة لأخرى، وذلك تبعاً لشدة ووقت الجهد الذي يبذل في كل منهما وكذلك تبعاً لفترات الراحة البينية التي تعقب كل تدريب وآخر.

وجميع هذه المعلومات تعد في غاية الأهمية بالنسبة للمدرب ولجميع العاملين في المجال الرياضي حيث يتأسس عليها التخطيط لبرنامج التدريب من جهة وتشكيل حياة اللاعب من جهة أخرى، فضلاً على رعايته والعناية به من مختلف النواحي التي تساعد على تقدم مستواه الرياضي.

البعد الثالث: امتلاء المايوجلوبين بالأكسجين:

Replenishment of Myoglobin and Oxygen:

يوجد المايوجلوبين كجزء بروتيني في العضلات الإرادية، حيث يرتبط بالأكسجين في عمليات الأكسدة داخل الخلايا العضلية لإطلاق الطاقة، والدور الهام الذي يقوم به أنه يساعد في عملية انتقال وانتشار الأكسجين في الأنسجة العضلية كما يرتبط عمله بالهيموجلوبين الموجود بالدم.

يوجد المايوجلوبين بكميات كبيرة داخل الاليف العضلية البطيئة «Slow Twitch» مقارنة بالاليف العضلية السريعة «Fast Twitch» وهذا يفسر قدرة الاليف العضلية البطيئة «الحمراء» على القيام بالأعمال التى تنصف بالشدة المتوسطة ولمدة طويلة، ولكونها أيضا تنصف بالأكسدة الهوائية Aerobic، كما أن المايوجلوبين هو الذى يعطى الاليف البطيئة اللون الأحمر، وعما يذكر أن هذا النوع من الاليف العضلية يستهلك الأكسجين بنسبة أكبر فى عمليات الأكسدة الهوائية.

ويشير فوكس «Fox» ١٩٧٠ إلى نسبة المايوجلوبين تقدر بحوالى «١١ مليلتر فى كل كيلو جرام من الخلايا العضلية» ويعتبر ذلك هو المقدار الحقيقى لكمية مخازن الأكسجين التى هى بواسطة المايوجلوبين، وعلى سبيل المثال إذا كان لدينا فرد وزنه حوالى «٧٠ كيلو جراما» وتمثل العضلات الإرادية نسبة قدرها «٣٠ كيلو جراما» من هذا الوزن، فيكون مجموع مخازن الجسم من المايوجلوبين حوالى «٣٣٠ مليلتر» وبالطبع قد تزداد هذه النسبة أو تقل من رياضى لآخر حسب وزن عضلاته.

ويشير فوكس «Fox» أيضا إلى أن كمية المايوجلوبين لدى الرياضيين تزداد نتيجة التدريب حيث تصل إلى ٥٠٠ مليلتر تقريبا، وتظهر أهميته فى الدور الهام الذى يقوم به أثناء التمرينات البدنية لإمداد العضلات بما تحتاج إليه من أكسجين، كما تدل نتائج الدراسات الفسيولوجية التى أجريت حول هذا الموضوع أن كمية المايوجلوبين والأكسجين التى تستهلك أثناء التمرينات تملأ مرة ثانية أو يعاد تجديدها وقت الاستشفاء.

ويضيف أن مصادر الطاقة العضلية أثناء التمرينات تكون عبارة عن حوالى ٢٠٪ من مجموعات الفوسفات Total ATP وحوالى ١٠٪ من نظام الأكسجين Oxygen System وحوالى ٤٪ من المايوجلوبين Myoglobin وحوالى ٣٪ من مخازن الفوسفاجين Phosphagen Stores وحوالى ٢٪ من نظام حامض اللاكتيك Lactic acid system، إلا أن انتشار المايوجلوبين يقوم أثناء ذلك بدور هام فى داخل الخلايا حيث يسهل عملية انتشار الأكسجين من الدم «بالشعيرات» إلى أجسام الميتوكوندريا «Mitochondria» داخل الاليف العضلية وكما هو معروف أنها أجسام مؤكسدة وهذه العمليات الكيميائية الحيوية بالعضلات معقدة للغاية.

- امتلاء مخازن أوكسيمايوجلوبين:

Replenishment of Oxymyoglobin Stores:

يذكر فاندنر وآخرون «Vander, etal» ١٩٨٤ أن مخازن أوكسيمايوجلوبين تشبه في امتلائها مخازن الفوسفات حيث تكون سريعة جدا في الفترة الأولى من عملية الاستشفاء، والواقع التجريبي الذي تؤكد عليه كثير من الدراسات البيوكيميائية هو أن التشابه في التجديد أو الامتلاء يكون في الأوكسيمايوجلوبين أسرع من نظيره في الفوسفات، وقد فسر البعض ذلك بأن مركب الأوكسيمايوجلوبين Oxymyoglobin يمثل مصدرا من مصادر الطاقة بالجسم والأهم من ذلك كونه يحتوي على الأكسجين.

كما أفادت بعض الدراسات «Wasserman ١٩٨٦»، «فاندنر وآخرون Vander, etal ١٩٨٤» أن الاسترداد في الأوكسيمايوجلوبين لا يرتبط بعملية التمثيل الناتج من ATP فضلا على أن كلا من المايوجلوبين والأكسجين مرتبطان، أو ملتصقان، وهذا الارتباط أو الالتصاق يعتمد على الاستفادة منهما في الدم الذي يسير داخل الأوعية الدموية حتى يصل إلى الخلايا العضلية لإطلاق الطاقة معتمدا في ذلك على نسبة الضغط في الشرايين، وعندما يقل أو يخف الضغط في داخل الأوعية الدموية ينفصل جزئ الأكسجين عن المايوجلوبين وينفذ إلى الأنسجة العضلية للقيام بعمليات الأكسدة.

وعلى ذلك فإن ربط جزئ الأكسجين يكون قويا جدا في الضغط العالي بالشرايين ثم يقل هذا الضغط في نهايته عند الأكسدة العضلية لنفاذ جزيئات الأكسجين إلى الأنسجة العضلية من أجل إتمام عمليات الأكسدة، ثم يحدث ذلك مرة أخرى في فترات الاستشفاء أيضا حيث يتم تخلص الأنسجة العضلية من نواتج عمليات الأكسدة المختلفة.

- الأوكسيمايوجلوبين والدين والأكسجيني:

Oxymyoglobin and Oxygen Debt:

يطلق مصطلح الدين الأكسجيني على كمية الأكسجين التي تستهلك خلال فترة الاستشفاء، وهذه الكمية من الأكسجين تزيد عن حجمها وقت الراحة، ويعنى آخر يعنى

التمثيل الحيوي للطاقة في الهبال الرياضى

الدين الاكسجيني أن كمية الاكسجين المستهلك أثناء المجهود قد زاد عن استهلاك الاكسجين وقت الراحة، وأن فترة الاستشفاء التي تلى للمجهود البدني تزداد بها نسبة الاكسجين ليتمكن الجسم من إعادة مخزون الطاقة إلى المستوى التي كانت عليه قبل أداء الجهد البدني.

أى أنه للتعرف على الدين الاكسجيني يلزم التعرف أولاً على حجم أو مقدار الاكسجين أثناء فترة الراحة ولمدة محدودة، وبمقارنة هذا الحجم بما يتم استهلاكه من اكسجين بعد أداء التمرينات البدنية يتضح أن هناك فارقاً في هذا الحجم أو المقدار، وهذا الفارق هو ما يعرف بالدين الاكسجيني.

أى أن الدين الاكسجيني هو زيادة في نشاط استهلاك الاكسجين وقت الراحة التي سبقها عمل عضلى، ويتم ذلك من خلال الحصة المبكرة أو الفترة الأولى من الاستشفاء حيث يبلغ حده الأقصى في بداية تلك الفترة ثم يتناقص شيئاً فشيئاً مع طول فترة الاستشفاء وهو ينقسم إلى قسمين:

الأول يتم فيه استعادة تكوين مصادر الطاقة الفوسفاتية وتسمى الدين الاكسجيني بدون اللاكتيك، والثاني يتم فيه التخلص من حامض اللاكتيك ويسمى الدين الاكسجيني لحامض اللاكتيك.

أى أنه أثناء فترة الاستشفاء وزيادة استهلاك الاكسجين يتم تجليد مركبات الفوسفات في العضلات، وتعتبر عملية زيادة نشاط الاكسجين أثناء فترة الاستشفاء من أجل تعويض المايوجلوبين بالاكسجين، ويعتقد أن امتلاء مخازن أوكسيمايوجلوبين مرتبط بعملية الدين الاكسجيني.

البعد الرابع: التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم،

Removal of Lactic acid from Mvsclcs and Blood:

حامض اللاكتيك عبارة عن مركب كيميائي يرمز له بالرمز $\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{COOH}$ ويتكون في العضلات نتيجة أكسدة الجلوكوز لاهوائياً بالخلايا العضلية.

ويذكر واسرمان «Wasserman» ١٩٨٦ أن نسبة حامض اللاكتيك في الدم لدى الفرد العادى وقت الراحة من (٨-١٢ مليجرام /%) (حوالى ١,٠٠ مللى مول/ لتر). إلا أن تلك النسبة تزيد عند المجهود البدني وعند معدل منخفض من الاكسجين.

التمثيل العيوس للطاقة في المجال الرياضى ١٨٤

وحامض اللاكتيك عندما يتراكم في العضلات ويتقل إلى الدم يؤدي إلى الشعور بالتعب المؤقت، والتخلص منه مهم جدا لإتمام عمليات الاستشفاء والعودة إلى الحالة الطبيعية للرياضيين بعد الانتهاء من الجهد البدني، وهذا يعتمد على مدى تراكم حامض اللاكتيك من جهة وعلى نوعية وطبيعة الاداء من جهة أخرى وعلى نظم إطلاق الطاقة إن كانت هوائية أو غير هوائية.

وتسمى عملية إنتاج حامض اللاكتيك Production of Lactic acid ويرمز لها بالرمز «Ra» بينما تسمى عملية التخلص منه Rat of disappearance ويرمز لها بالرمز «Rd» في حين أن ثبات مستوى حامض اللاكتيك في الدم أو استقراره تسمى «Steady State» ويرمز لها بالرمز $Ra = Ed$ أي أن الإنتاج والتخلص متساو.

وقد أثبتت عدة دراسات أن مدة ساعة ونصف تقريبا تكون كافية للتخلص من حوالي ٨٠٪ من حامض اللاكتيك بعد التدريبات ذات الشدة القصوى، بينما يقل الزمن اللازم لذلك كلما قلت شدة التمرينات، وبصفة عامة يساعد على سرعة التخلص من حامض اللاكتيك قيام الفرد ببعض تمرينات التهذئة الخفيفة حيث إنها تعمل على سرعة التخلص منه.

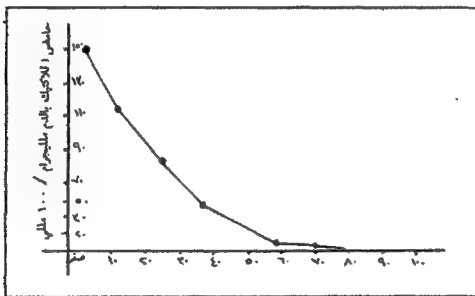
سرعة التخلص من حامض اللاكتيك: Speed of Lactic acid Removal

إن سرعة التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات والدم أثناء عملية الاستشفاء والعودة للحالة الطبيعية بعد الجهد البدني تعتبر هدفا غالبا يسعى إليه جميع المدربين والرياضيين على حد سواء.

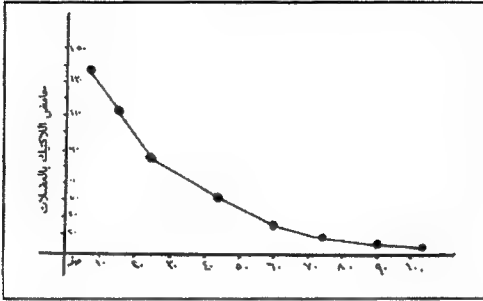
وعندما تزداد نسبة حامض اللاكتيك في العضلات تخرج إلى الدم الذي يحملها بدوره إلى الكبد Liver والكبد بدوره يقوم بتحويل اللاكتات Lactate إلى بيروفات Pyruvate عن طريق عمليات كيميائية متسلسلة تنتهي بتحويل البيروفات إلى جليكوجين Glycogen - 6P يذهب إلى الدم ثم يصل إلى العضلات لاستخدامه في إنتاج الطاقة، وذلك من خلال عمليات الجلوكزة أو يخزن على صورة جليكوجين، أو ليظل كمخازن للطاقة في العضلات، وتعرف دورة اللاكتيك من العضلات إلى الدم إلى الكبد بدورة «كوري Cori Cycle».

ويتشتر حامض اللاكتيك من الخلايا العضلية إلى الدم أو الفراغات خارج الخلايا، ويتم انتشار بعض حامض اللاكتيك خلال الألياف العضلية الأخرى غير العاملة لاستهلاكه كمصدر للطاقة، كما يتم دفع جزء آخر من حامض اللاكتيك إلى الدم الذي ينقله إلى القلب الذي يستهلكه كمصدر للطاقة.

ويساعد الجهاز الدوري في التخلص من حامض اللاكتيك نتيجة زيادة توصيل الدم إلى العضلات العاملة عن طريق زيادة الدفع القلبي وكثافة الشعيرات الدموية وتوزيع سريان الدم إلى العضلات العاملة، وهذا يعمل على سريان الدم خلال العضلات لفترة زمنية معينة مما يسمح بانتشار اللاكتيك من العضلات إلى الدم الذي يقوم بنقله إلى القلب والكبد والعضلات غير العاملة.



شكل رقم (٢٥) سرعة التخلص من حامض اللاكتيك بالدم



وقت الاستشفاء بالدقيقة

شكل رقم (٢٦) سرعة التخلص من حمض اللاكتيك بالعضلات

وقد دلت دراسة «كارلسون وسالتين Darlessan and Saltin ١٩٩٢» على أن الرياضيين أصحاب القلوب كبيرة الحجم تكون فرصتهم أفضل في التخلص من زيادة حمض اللاكتيك من الدم نتيجة قيام الألياف العضلية للقلب باستهلاك اللاكتيك، وأثبتت الدراسة أن تدريبات التحمل تعمل على سرعة التخلص من اللاكتيك نتيجة تأثيرها المباشر في زيادة حجم القلب حيث يصل إلى ١١٥٠ سم^٣.

ويساعد نشاط إنزيم Lactate dehydrogenase (LDH) في التمثيل الغذائي لحمض اللاكتيك، ولهذا فإن زيادة نشاط هذا الإنزيم يصحبها زيادة في التخلص من اللاكتيك، وهناك نوعان أساسيان من أشكال هذا الإنزيم في جسم الإنسان أحدهما في العضلة (M - LDH) والثاني في القلب (H - LDH) ويساعد إنزيم العضلات في تحويل اللاكتيك إلى بيروفك بينما يقوم إنزيم القلب بتنظيم التفاعل العكسي بتحويل اللاكتيك إلى بيروفك، وهذا الإنزيم (H - LDH) يتشتر في ألياف عضلة القلب، وعندما يزيد تجمع اللاكتيك في العضلة يشعر اللاعب بالتعب العضلي.

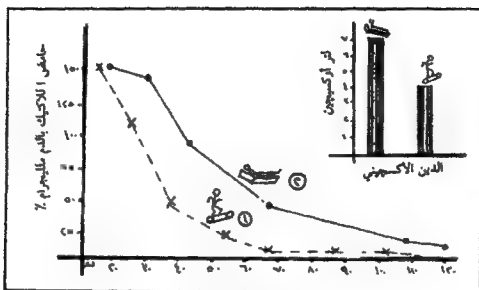
وبشكل عام فإن حامض اللاكتيك يسلك عدة مسالك عن طريقها يتم التخلص منه. وهذه المسالك هي:

- التحول إلى جليكوجين وجلوكوز؛ ويتم ذلك في الكبد وذلك من خلال دورة بين العضلات والدم والكبد تعرف بدورة كوري.
- أكسدة حامض اللاكتيك بالطرق الهوائية حيث يتحول إلى ثاني أكسيد كربون وماء لاستخدامه كوقود في إنتاج الطاقة الهوائية بواسطة العضلات الإرادية.
- التحول إلى بروتين ويتم ذلك بشكل قليل جدا خلال الفترات الأولى من عملية الاستشفاء.
- التحول إلى البول والعرق ويتم ذلك بشكل بسيط جدا من خلال الجهاز الإخراجي.

تأثير التمرينات على التخلص من حامض اللاكتيك:

Effect of Exercise - Recovery on Lactic acid Removal:

تدل نتائج دراسات فوكس وما تيوز «Fox and Mathews» ١٩٧١ التي أجريت حول هذا الموضوع أن التمرينات التي تؤدي على جهاز البساط المتحرك والدراجة الثابتة تساعد على سرعة التخلص من حامض اللاكتيك وينسب غير متساوية، وهي في نفس الوقت تكون أفضل من الاعتماد على الراحة التامة دون القيام بأي جهد، حيث إن الراحة التامة تزيد من فترة التخلص من حامض اللاكتيك، وتشير النتائج إلى أن الدم يتخلص من حامض اللاكتيك، في حوالي ٦٠ دقيقة بينما يتم التخلص من حامض اللاكتيك بالعضلات في حوالي ٩٠ دقيقة، وعلى ذلك فإنه يمكن مساعدة الرياضيين في عمليات التخلص من حامض اللاكتيك وذلك عن طريق القيام ببعض التمرينات الخفيفة «المشي - الدحذحة - تمرينات التهدئة» لأنها أفضل بكثير من الراحة التامة السلبية بالنسبة للتخلص من حامض اللاكتيك.



وقت الاستشفاء بالدقيقة

شكل رقم (٢٧) تأثير التمرينات على التخلص من حامض اللاكتيك

فترات الاستشفاء في التدريب البدني:

Interval Recovery in Physical Training:

إن قدرة الفرد على العمل والاداء البدني أثناء التدريب تمر في عدة مراحل:

المرحلة الأولى: هي مرحلة استنفاد الجهد؛ فعند قيام الفرد بجهد بدني فإنه يستنفد قدرا من الطاقة وتنخفض قدرته على العمل تدريجيا، وتظهر عليه علامات التعب.

والمرحلة الثانية: هي مرحلة استعادة الاستشفاء أي أنه عندما يعقب الجهد البدني توقف عن العمل أي الانتقال إلى الراحة فإن قدرة الفرد تعود تدريجيا إلى حالتها الأولى التي بدأت منها.

والمرحلة الثالثة: هي زيادة استعادة الاستشفاء أي أنه باستمرار فترة الراحة نجد أن الفرد يمر في مرحلة تزداد فيها قدرته عما كانت عليه في البداية وتعرف هذه المرحلة بمرحلة زيادة استعادة الاستشفاء «التعويض الزائد». وأخيرا.

المرحلة الرابعة: وهي العودة لنقطة البداية أي أنه إذا طال فترة الراحة أكثر من اللازم فإن قدرة الفرد تعود إلى حالتها الأولى.

وتستغرق كل من المراحل الثلاثة الأخيرة فترة معينة تتناسب مع شدة وحجم الحمل في المرحلة الأولى وهي تختلف من فرد لآخر طبقاً لمستوى قدراته الوظيفية والبدنية، وعلى ضوء ذلك فإن تكرار الحمل في كل مرحلة من المراحل الثلاثة الأخيرة يؤدي إلى النتائج التالية:

- إذا تكرر الحمل التدريبي في مرحلة العودة لنقطة البداية فإنه لن يؤدي إلى تنمية تذكر في القدرات الوظيفية والبدنية للفرد.
- إذا تكرر الحمل التدريبي أثناء مرحلة استعادة الاستشفاء فإن ذلك يؤدي إلى هبوط في القدرات الوظيفية والبدنية للفرد.
- إذا تكرر الحمل التدريبي في مرحلة زيادة استعادة الاستشفاء «التعويض الزائد» فإن ذلك يؤدي إلى الارتقاء بالقدرات الوظيفية والبدنية للفرد.

جدول (٩) فترات الاستشفاء الموصى بها بعد التمرينات

فترات الاستشفاء		مواد الطاقة أثناء عملية الاستشفاء
الحد الأدنى	الحد الأقصى	
٣ دقيقة	٢ دقيقة	تعويض مخازن الفوسفات بالعضلات ATP, PC
٢ دقيقة	١ دقيقة	تعويض مخازن المايوجلوبين بالأكسجين
٤٦ ساعة بعد التمرينات المستمرة	١٠ ساعات	تعويض مخازن الجليكوجين بالعضلات
٢٤ ساعة بعد التمرينات المتقطعة	٥ ساعات	تخلص العضلات والدم من حامض اللاكتيك
١ ساعة باستخدام التمرينات الخفيفة	٣٠ دقيقة	الدين الأكسجيني لحامض اللاكتيك
٢ ساعة بدون استخدام «راحة»	١ ساعة	
١ ساعة	٣٠ دقيقة	

نخلص من ذلك أنه لضمان الارتقاء بقدرات اللاعب البدنية والوظيفية فإنه من الضروري العناية بفترات الراحة البينية عند تكرار الحمل التدريبي بحيث يقع الحمل التالى فى مرحلة زيادة استعادة الاستشفاء حيث يتم فى هذه المرحلة تجديد مخازن الفوسفات والجليكوجين بالعضلات، كما يتم امتلاء المايوجلوبين بالأكسجين وكذلك يتم التخلص من حامض اللاكتيك فى العضلات والدم، لذلك كان لزاما على كل مدرب ضبط فترات الراحة البينية بين كل تكرار لحمل التدريب وبين كل تدريب وآخر.

وعلى سبيل المثال فإن طريقة التدريب الفترى منخفض الشدة يهدف إلى تنمية التحمل العام والتحمل الخاص وتحمل القوة وأن فترات الراحة البينية بين كل تكرار وآخر تكون من ٤٥-٩٠ ثانية للاعبين المتقدمين، وتكون من ٦٠ - ١٢٠ ثانية للناشئين، وهذه الفترات كافية لتكوين وتجديد الفوسفات، وهى بالتالى تساعد على تنمية تلك العناصر البدنية.

أما إذا كان المطلوب هو تنمية السرعة أو تحمل القوة أو القدرة فإن طريقة التدريب الفترى مرتفع الشدة هى أنسب الطرق حيث تتراوح فترات الراحة البينية بين كل تكرار وآخر من ٩٠ - ١٨٠ ثانية للاعبين المتقدمين وتكون من ١١٠ - ٢٤٠ ثانية للناشئين، وهذه الفترة أيضا كافية لتكوين وتجديد المركبات الفوسفاتية وامتلاء المايوجلوبين بالأكسجين، فى حين إذا كان الهدف هو تنمية السرعة أو القوة العظمى فإن طريقة التدريب التكرارى تعتبر مناسبة حيث تتراوح فترات الراحة البينية عند تدريبات الجرى من ١٠ - ٤٠ دقيقة فى حين تكون من ٣ - ٤ دقائق لتدريبات الأثقال وهذه الفترات كافية لتجديد الجليكوجين وامتلاء مخازن الفوسفات بالعضلات.

يتضح من ذلك أن عمليات الاستشفاء التى تتم بين كل تكرار وآخر وبين كل يوم تدريبي وآخر من الأهمية حيث إنها تساعد على الارتقاء بالمستوى الوظيفى والبدنى للفرد، وفى حالة تقنين تلك الفترات فإن مخازن الطاقة بالعضلات والدم يتم تجديدها وامتلاؤها مما يجعل اللاعب فى كل مرة يبدأ من مستوى أفضل من المستوى الذى كان عليه فى التدريب السابق. وفى الأسبوع السابق وهكذا، كما أن إهمال تلك الفترات يؤدى إلى عدم قدرة اللاعب على مواصلة الجهد وبالتالي يقل مستواه الوظيفى والبدنى.

مستخلص عمليات الاستشفاء:

(١) تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات يكون سريعا جدا خلال الدقيقة الاولى من فترة الاستشفاء حيث يصل إلى ٧٥٪، ويستمر التجديد في الزيادة ليصل إلى ٩٨٪ خلال الدقيقة الثالثة، ويوصى المؤلف بضرورة التزام المدربين بفتترات الاستشفاء خاصة عند التدريب لتنمية التحمل العام والتحمل الخاص.

(٢) طريقة التدريب الفترى منخفض الشدة تشتمل على فترات راحة بينية تتراوح من ١-٣ دقائق، وتكفي تلك الفترة لتجديد الفوسفات لذلك يوصى المؤلف بضرورة اهتمام المدربين بفتترات الراحة البينية للتأكد من استكمال عمليات تجديد مخازن الفوسفات بالعضلات.

(٣) تكرار تدريبات التحمل لأيام متتالية دون فترات راحة يؤدي إلى نقص في مخازن الجليكوجين حيث يستمر النقص مع مرور أيام التدريب، ويوصى المؤلف بأن تتخلل الوحدات التدريبية الخاصة بتنمية عنصر التحمل وحدات تدريبية أخرى لتنمية عناصر بدنية مختلفة.

(٤) قليل جدا من جليكوجين العضلات يتم تجديده بعد مرور ٣٠ دقيقة من بداية فترة الاستشفاء، وحوالي ٤٥٪ من الجليكوجين يتم تجديده بعد مرور حوالي خمس ساعات، وحوالي ٦٠٪ منه يتم تجديده بعد مرور عشر ساعات من بداية فترة الاستشفاء بين وحدات التدريب؛ لذلك يوصى المؤلف بمراعاة تلك الفترات عند التخطيط لبرامج التدريب المختلفة.

(٥) تمثل العضلات بالجليكوجين بعد مرور ٢٤ ساعة إذا سبقها تدريب بدني فترى مرتفع الشدة، وتحتاج إلى ٤٦ ساعة لامتلائها إذا سبقها تدريب بدني منخفض الشدة على أن يتناول الفرد كميات مناسبة من الكربوهيدرات في الطعام.

(٦) مخازن الأوكسيمايوجلوبين تبدو أهميتها في تسهيل انتشار الأكسجين داخل الأنسجة العضلية ويساعدها في ذلك الميتوكوندريا، كما أن الألياف العضلية

الحمراء غنية بالمايوجلوين مقارنة بالالبياف العضلية البيضاء، وعندما تستهلك كمية الأوكسيمايوجلوين فى الانقباض العضلى تملأ مرة ثانية فى اللحظات الأولى من فترة الاستشفاء .

(٧) يتحول قدر كبير من حامض اللاكتيك إلى جليكوجين فى الأكسدة الهوائية وذلك بفضل الدور الهام الذى يؤديه الكبد، كما أن استخدام التمرينات البسيطة بعد التدريبات تعمل على سرعة تخليص العضلات من حامض اللاكتيك، وتعرف تلك التمرينات بتمرينات الاستشفاء . ويوصى المؤلف المدربين بضرورة العناية بتلك التمرينات بعد الانتهاء من التدريبات الأساسية .

(٨) تعد عملية الاستشفاء بعد التدريب البدنى بأنواعه المختلفة فى غاية الأهمية لتجديد مخازن الطاقة بالعضلات والدم، ولتحقيق ذلك فإن تقنين فترات الراحة البيئية لتكرارات التدريب تعمل على تجديد تلك المركبات مما ينعكس إيجابيا على اللاعب بحيث يبدأ التدريب كل مرة من مستوى أفضل من المستوى السابق، وهذا بدوره يساعد على الارتقاء بمستواه البدنى والوظيفى .



الفصل العاشر

المصطلحات المتصلة

بموضوع الكتاب



أحماض Acids

هى مواد تعطى عند تفككها أيونات الهيدروجين والأحماض إما أن تكون أكسجينية أو غير أكسجينية، ويدل عدد ذرات الهيدروجين فى جزئ الحمض على قاعدته، فمثلا يقال بأن HCl ، HNO_3 حمضان أحاديا القاعدة، H_2O_4 ، H_2CrO_4 حمضان ثنائيا القاعدة، ويذوب العديد من الأحماض جيدا فى الماء، ومحاليل الأحماض طعم حامض يتغير فيها لون المحلول وتتفاعل الأحماض مع الفلزات والأكاسيد والأملاح..

أحماض أمينية Amino acids

هى أحماض عضوية تحتوى على مجموعة أو عدة مجموعات أمينية، وهى واسعة الانتشار فى الطبيعة، وتدخل فى تركيب البروتينات، وتقسم الأحماض الأمينية إلى أحماض α ، وأحماض B وذلك تبعا لوضع مجموعة الأمين بالنسبة لمجموعة الكربوكسيل، وتقسم الأحماض الأمينية إلى أحماض أحادية الأمين وثنائية الأمين تبعا لعدد المجموعات الأمينية فيها، والأحماض الأمينية مواد بلورية صلبة معظمها يذوب فى الماء ولا يذوب فى المزيئات العضوية ولها طعم حلو، وقد تم الحصول على أكثر من عشرين حمضا أمينيا، ويمكن الحصول عليها صناعيا بتفاعل النشادر مع الأحماض الحاوية على الهالوجين وتصنع من الأحماض الأمينية فى الجسم الحى بروتينات لمختلف الأعضاء والأنسجة وكذلك الهرمونات والإنزيمات وغيرها من المواد البيولوجية الهامة.

أحماض دهنية Fatty acids

أحماض عضوية ذات سلسلة مفتوحة مثل حمض الخليك، وفى الأجسام الحية والنباتية تتكون الأحماض الدسمة غالبا نتيجة عمليات التمثيل الغذائى فى هذه الأجسام، وتدخل فى تركيب الدهون.

أحماض كربوكسيلية Carboxylic acids

أحد المركبات العضوية تحتوى على مجموعة كربوكسيل $C=O-OH$ ويمكن أن تكون وحيدة القاعدة أو ثنائية القاعدة أو متعددة حسب المجموعات الكربوكسيلية، وتتفاعل مع الكحولات مكونة الإسترات، كما تخضر بأكسدة الألدهيدات والكيثرانات

وهي منتشرة في الطبيعة كما تدخل في تركيب الدهون والزيوت وتوجد في الدم وثمار النباتات.

أحماض نووية Nucleic acids

هي مركبات عضوية ذات جزيئات ضخمة تدخل في تركيب البروتينات المعقدة وتلعب دورا هاما في عمليات النشاط الحيوى لجميع الأجسام الحية، وتتألف هذه الأحماض من عدد كبير من النويات الاحادية التي يدخل في تركيبها حمض الفوسفوريك والكربوهيدرات «الريوس» ليميز بين نوعين منها هما الحمض النووي DNA، RNA ويتمركز DNA غالبا في نوى جميع الخلايا والكروموزومات بينما يوجد RNA بصورة رئيسية في سيتوبلازم ويلعب DNA دورا كبيرا في نقل الخواص الوراثية للأجسام.

أحماض هيدروكسيلية Hydroxy acids

مركبات عضوية تحوى في آن واحد مجموعتى الكربوكسيل والهيدروكسيل مثل حمض اللاكتيك « $\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{COOH}$ » وهي تنصف بجميع خواص الأحماض مثل «التفكك - تشكيل الأملاح» والكحولات مثل «الأكسدة» وتنتشر بشكل واسع في الطبيعة.

اختزال Reduction

هو تفاعل كيميائى معاكس للأكسدة حيث تضم فيه الذرة أو الأيونات مما يؤدي إلى خفض تكافؤ درجة الأكسدة مثل اختزال الأحماض العضوية إلى الالكهيدات والكحولات.

أدرينالين «إينفرين Adrenaline epinephrin»

هرمون تفرزه غدة الكظر ويؤدي إلى رفع الضغط الشريانى نتيجة تضيق الأوعية الدموية كما يشترك في تخثير الكربوهيدرات.

إسترات Esters

مشتقات الأحماض العضوية أو غير العضوية والكحولات وتوجد في الزيوت الاثيرية وتشكل أساس الدهون الحيوانية والنباتية.

إسترويدات Steroids

مواد عضوية معقدة من منشأ نباتي وحيواني وهي تشتمل على الإستيرينات والأحماض الصفراوية والهرمونات الجنسية ولها دور هام فى النشاط الحيوى للأجسام الحية.

أكسدة Oxidation

تخلى ذرات أو جزيئات المادة المتأكسدة عن الإلكترونات وانضمام هذه الإلكترونات إلى ذرة أو جزيء مادة أخرى تدهى المؤكسد، ويرافق الأكسدة ازدياد فى التكافؤ الموجب «درجة الأكسدة» وكان ينظر سابقا إلى الأكسدة على أنها مجرد تفاعل ضم الأكسجين إلى مادة ما، ولكن تفاعل ضم الأكسجين يعتبر حالة خاصة بين تفاعلات الأكسدة، وتنتقل كمية من الطاقة أثناء أكسدة المواد وعمليات الأكسدة واسعة الانتشار فى الطبيعة ونذكر منها الاحتراق وهى مستمرة فى جسم الحيوان.

أكسجين Oxygen

تم اكتشافه لأول مرة عام ١٧٧١ من قبل العالم شيلا ثم تلاه العالم بريستلى عام ١٧٧٤ دون أن يعلم باكتشاف شيلا. والأكسجين من أكثر العناصر انتشارا على الأرض وهو يوجد بصورة حرة فى الهواء ويشكل حوالى ٢١٪ من حجم الهواء، وهو غاز ثنائى الذرة O_2 لا لون له ولا طعم وهو يتفاعل مع معظم العناصر ويؤكسد بنشاط المواد العضوية، ويحضر أساسا من الهواء ويستعمل فى العديد من الصناعات الكيميائية، ويوجه عام فالأكسجين ضرورى لجميع الكائنات الحية.

ألدهيدات Aldehydes

أحد المركبات العضوية التى تحتوى على مجموعة «COH» وتحضر بأكسدة الكحولات، والألدهيدات مواد فعالة كيميائيا حيث تتأكسد بسهولة وتتحول إلى أحماض.

أملاح Salts

أحد المركبات الكيميائية وهى عبارة عن مواد بلورية أيونية تعطى عند تحليلها فى المحاليل أيونات موجبة وسالبة، كما تقسم كيميائيا إلى أملاح محايدة «طبيعية» وأملاح حمضية وقاعدية وثنائية ومختلطة.

أميلاز Amylase

وهو من الكلمة اليونانية amilan وتعنى النشا وهو عبارة عن إنزيم واسع الانتشار فى الطبيعة 'فى' أنسجة الحيوانات والنباتات' ونذكر على سبيل المثال أن أميلاز اللعاب يستطيع خلال عدة دقائق أن يحول النشا إلى مالتوز.

إنزيمات Enzymes

حواجز عضوية من أصل بروتينى تنتجها البروتوبلازما الحية للخلية، تشارك فى جميع العمليات البيولوجية وتتصف بفاعلية كبيرة فى تأثيرها ويعرف فى الوقت الحاضر أكثر من ٨٠٠ أنزيم.

أنسولين Insulin

وهو من الكلمة اللاتينية Insula وتعنى جزيرة وهو هرمون تفرزه غدة البنكرياس وهو ينظم عملية تمثيل الكربوهيدرات فى الجسم ويحافظ على النسبة الطبيعية للسكر فى الدم. والأنسولين بروتين بسيط يوجد فى المحاليل المائية على شكل جسيمات كبيرة، ويستعمل فى علاج مرض السكر وبعض الأمراض النفسية.

ببتيدات Peptides

مواد عضوية تتكون من الأحماض الأمينية وتتحد مع بعضها برابطة ببتيدية وهى نواتج وسطية فى تفاعلات تحلل البروتين فى الأجسام الحيوانية والنبات وتحلل الرابطة الببتيدية بفعل الإنزيمات مما يودى إلى أحماض أمينية حرة.

بيسين Pepsin

إنزيم يوجد فى عصارة المعدة يهكك البروتينات ويحولها إلى ببتيدات.

بروتينات proteins

مركبات طبيعية ذات جزيئات ضخمة، وتعتبر أهم مكون فى جميع الأجسام الحية وتتكون من مشات وآلاف البقايا من الأحماض الأمينية & المرتبطة مع بعضها بروابط ببتيدية، وتدخل فى تركيب البروتينات بقايا أكثر من عشرين حمضا أمينا وتتألف البروتينات من الكربون ٥٠٪ والاكسجين ٢٠٪ والهيدروجين ٦٪ والتشروجين ١٥٪

التمثيل الميوس الطاقة فى المجال الرياضى

والكبريت ٣٪، وهى تلعب دورا هاما فى النواحي البيولوجية التى تنظم سرعة واتجاه التفاعلات الكيميائية فى الجسم وتتعاون مع الأحماض النووية فى نمو الجسم ونقل كل الصفات الوراثية، وتعتبر الأساس البنائى للعضلات، وتقسم البروتينات إلى بسيطة ومعقدة.

Pentose بتوز

سكر أحادى يحتوى على خمس ذرات كربون «مثل الريبوز الأرابينوز» وصيغته الكيميائية $C_5H_{10}O_5$ ، والبتوز واسع الانتشار فى الطبيعة، وهو يدخل فى تركيب الأحماض النووية.

Potassium بوتاسيوم

فلز ذو لون أبيض فضى، نشيط كيميائيا ويتأكسد فى الهواء بسرعة ويتفاعل مع الماء والأحماض حيث يعطى هيدروجين كما يقوم بدور المادة الحفازة.

Poly saccharides بولى سكريد

كربوهيدرات معقدة تتألف جزيئاتها من عدد كبير من بقايا السكريات الأحادية.

Coagulation تجلط «تخثر»

اتحاد الجسيمات الدقيقة مع بعضها البعض وتشكيلها لجسيمات أضخم تحت تأثير قوى الالتحام أو الالتصاق.

Fermentation تخمر

عملية تفكك المواد العضوية وبخاصة الكربوهيدرات بفعل الكائنات الدقيقة مثل البكتيريا أو الإنزيمات، ويرافق هذه العملية انطلاق طاقة ضرورية لنشاط هذه الكائنات الدقيقة، ويعتبر التخمر الكحولى أساس عدد من الصناعات الغذائية مثل إنتاج الألبان والأجبان والبيرة.

Concentration تركيز

مقدار يعبر عن الكمية النسبية للمادة المعلقة فى المحلول، ويعبر غالبا عن التركيز بكتلة المادة المذابة فى ١٠٠ جرام وأحيانا فى لتر من المذيب، والتركيز الجزيئى الحجمى

هو عدد الجزيئات بالجرام من المادة المذابة في لتر من المحلول، والتركيز الجزيئي الوزني هو عدد الجزيئات بالجرام من المادة المذابة في ١٠٠٠ جرام من المذيب.

تبادل Neutralization

يعني محايد أو معتدل عندما يكون الحمض والقاعدي متساويين.

تفاعلات كيميائية Chemical reactions

تحول مواد إلى مواد أخرى تختلف عن الأولى في تركيبها وخواصها، ويمثل هذا التحول بمعادلة كيميائية أى أن ذرات المادة لا تتحول وإنما تنتقل من حالة إلى أخرى.

ثلاثي فوسفات الأدينوزين Adenosin Triphosphat ATP

مركب قاعدي تتحول وتخزن فيه الطاقة اللازمة لنشاط الكائنات الحية وتوجد فيه روابط فوسفاتية غنية جداً بالطاقة مما يجعله يشترك في تفاعلات التمثيل الغذائي، وتنفصل من جزيئات ATP مجموعتان فوسفيتان وتنتقل عندئذ طاقة قدرها ٤٠ - ٥٠ كيلو جول / مول وتجرى تحولات ATP في الأجسام الحية بفعل الإنزيمات ويوجد في أنسجة الحيوانات والنباتات.

ثنائي أكسيد الكربون Carbon dioxide CO₂

غاز عديم اللون أثقل من الهواء، تبلغ نسبته في الجو ٠,٣ - ٠,٤ ٪، يذوب في الماء وهو مركب ثابت يشكل باتحاده مع الماء حمض الكربونيك ويتفاعل بنشاط مع القواعد القوية مكوناً الكربونات، وهو ينتج من تفاعلات التمثيل الغذائي بالجسم.

جزيء Molecule

أصغر جسم في المادة البسيطة أو المعقدة ويملك الخواص الكيميائية الأساسية لها، ولا يتعلق تركيب وبناء الجزيء بطريقة تحضير المادة.

جيلاتين Gelatin

مزيج من مواد بروتينية ذات منشأ حيواني، ويحوى ١٥ ٪ ماء و ١ ٪ رماد، والجيلاتين ذو لون أصفر باهت ينتفخ بالماء ثم يذوب فيه أثناء التسخين، ويتحول الجيلاتين أثناء تبريده إلى هلام يعود ويتحول إلى محلول بالتسخين، ويحضر الجيلاتين من عظام وغضاريف الحيوانات.

حمض اللاكتيك Lactic Acid

يتكون من المواد السكرية أثناء تخمرها اللبنى، ويتكون فى العضلات نتيجة الأكسدة اللاهوائية، تزداد نسبته فى العضلات أثناء القيام بجهد عضلى لاهوائى ويعتبر من أحد العوامل المؤدية للتعب العضلى، عند الراحة يتحول منه جزء إلى جليكوجين ويتأكسد القسم الآخر متحولاً إلى H_2O ، CO_2 .

حمض الهيدروكلوريك Hydrochloric

محلول مائى من كلوريد الهيدروجين HCL وهو حمض قوى ذو رائحة نفاذة، ويحضر بإذابة كلوريد الهيدروجين فى الماء، ويلعب دوراً هاماً فى هضم الطعام بالمعدة.

دهون Fats

تعتبر مصدر الطاقة فى الجسم وتدخل فى تركيب البروتوبلازم والمواد الغذائية الاحتياطية، والدهون الحيوانية هى مواد صلبة، أما الدهون النباتية فكلها مواد سائلة ولهذا تسمى بالزيوت، وتتكون الدهون الحيوانية من أحماض مشبعة صلبة مثل حمض البالميك بينما تشكل الأحماض غير المشبعة الجزء الرئيسى فى الدهون النباتية، ويمكن تحويل الزيوت النباتية إلى دهون صلبة عن طريق الهدرجة، والدهون لا تذوب فى الماء وتشكل مواد عالقة أو مستحلبات.

دليل هيدروجينى PH value

PH قيمة تعبر عن تركيز فاعلية أيونات الهيدروجين فى المحاليل H^+ أى أنها تركيز أيونات الهيدروجين، وقد أدخل مفهوم PH فى الكيمياء لتسهيل الحسابات المتعلقة بقيمة H^+ نظراً لأن هذه القيمة تتراوح ضمن مجال واسع، ويمكن أن تقع قيمة PH للمحاليل المائية بين الصفر و ١٤ وهى تساوى ٧ ($\text{PH} = 7$) فى الماء النقى والمحاليل المعتدلة وأصفر من ٧ ($\text{PH} < 7$) فى المحاليل الحمضية وأكبر من ٧ ($\text{PH} > 7$) فى المحاليل القلوية، وتقاس قيمة PH بواسطة الأدلة الحمضية والقلوية.

سكر Sugar

الاسم الشائع للسكرود $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ، يحضر أسامسا من قصب السكر حيث تصل نسبته إلى ١٩٪ وهو يتمى إلى السكريات الثنائية.

التمثيل الحيوى للطاقة فى الهبال الرياضى

سكريات أحادية Monosaccharides

أبسط أنواع السكر (مونوزات) وهى عبارة عن كحولات ألدهيدية أو كحولات كيتونية ويتمى إليها الجلوكوز والفركتوز وغيرها.

سكريات ثنائية Disaccharides

كربوهيدرات بلورية تتكون جزيئاتها من بقايا جزيئين من السكريات الاحادية، تدخل فى تركيب الأنسجة النباتية والحيوانية مثل السكروز والمالتوز، وتحلل إلى سكريات أحادية.

سكرين Saccharin

بلورات عديمة اللون ذات طعم حلو، وهى عبارة عن ملح السكرين الصوديومى وهو أحلى من السكر العادى بـ ٥٠٠ مرة، ويحضر السكرين من مادة تعرف بالتولوين ويستخدمه المرضى بديلا عن السكر حيث لا يمثل الجسم.

سليولوز Cellulose

المكون الرئيسى فى غلاف الخلايا النباتية، يتألف من بقايا جزيئات الجلوكوز، ويعتبر القطن الذى يستعمل فى إنتاج الأقمشة سليولوزا نقيا جدا، ويصنع الورق من السليولوز.

صوديوم Sodium

Na من مركبات الصوديوم المعروفة كربونات الصوديوم الطبيعية «الصودا» Na_2CO_3 وهو يحتل المركز السادس من حيث انتشاره فى الطبيعة فى صورة الملح، ويتشتر فى جو الشمس وماء البحر والنباتات ويتصف بفاعليته فى نقل الكهرباء، ويتمى إلى الفلزات القلوية وهو نشيط جدا كيميائيا، ويتفاعل مع الأكسجين معطيا أكسيد الصوديوم، ويتفاعل مع النشادر مكونا أميد الصوديوم.

فيتامينات Vitamins

من الكلمة اللاتينية Vita وتعنى الحياة وهى من مواد عضوية ذات بناء كيميائى خاص وضرورية للإنسان والحيوان بكميات قليلة تشترك فى عمليات التمثيل الغذائى،

ويسبب خلل الغذاء من الفيتامينات الإصابة بمرض نقص الفيتامين، ويؤدي وجودها في الغذاء بكميات كبيرة إلى الإصابة بمرض زيادة الفيتامين وتقسّم الفيتامينات إلى ذائبة في الماء وذائبة في الدهون.

قلويات Alkalies

تكون في المحلول المائي تركيزا عاليا من أيونات الهيدروكسيل (OH^-)، وهي مواد صلبة بيضاء.

كحولات Alcohols

مركبات عضوية تحتوي على مجموعة هيدروكسيل OH مرتبطة بشق هيدروكربوني، وتصنف الكحولات تبعاً لعدد المجموعات الهيدروكسيلية الموجودة فيها إلى كحولات أحادية الهيدروكسيل، وهي تذوب جيداً في الماء، وتتكون الكحولات أثناء تخمر المواد السكرية وتستعمل على نطاق واسع في صناعة العقاقير الطبية والمطهر وغيرها.

كربون Carbon

تشكل مركبات الكربون الجزء الرئيسى في جميع المواد العضوية وقد خصص لها فرع مستقل في الكيمياء يدعى الكيمياء العضوية.

كربونات Carbonates

أملاح حمض الكربونيك، وهي نوعان: كربونات عادية وأخرى حمضية تذوب في الماء، وللكربونات الحمضية وظيفة فيولوجية هامة حيث تقوم بتنظيمه PH الدم.

كربوهيدرات Carbohydrates

أحد المركبات العضوية الهامة واسعة الانتشار في الطبيعة وتحتوي على الكربون والهيدروجين والأكسجين وهي عبارة عن كحولات ألدهيدية أو كيتونية، وتقسّم إلى كربوهيدرات بسيطة ومعقدة وثنائية وهي تلعب دوراً هاماً في عملية التمثيل الغذائي باعتبارها مصدراً أساسياً للطاقة.

كواشف كيميائية Chemical Reagents

مواد كيميائية تستعمل في التحليل الكيميائي والأبحاث العلمية حيث تسمح في شروط معينة بالكشف عن مادة واحدة.

كوليسترول Cholesterol

كحول متعدد الحلقات وأحادي الهيدروكسيل ينتمى إلى الإستيرولات يوجد فى الأجسام الحية إما بشكل حر أو على شكل أمترات تدخل فى تركيبها الأحماض الدهنية، ويسبب اختلال تمثله فى الجسم إلى عدد من الأمراض مثل تصلب الشرايين والتهاب المرارة وغيرها.

كيمياء Chemistry

علم يدرس العناصر الكيميائية ومركباتها والتفاعلات المتبادلة فيما بينها، وتقسم الكيمياء إلى عدة فروع هي: الكيمياء اللاعضوية والعنصرية والكيمياء الفيزيائية والتحليلية، وتشابك الكيمياء مع علوم أخرى مما يؤدي إلى ظهور فروع عملية مشتركة مثل البيوكيمياء (الكيمياء الحيوية) والكيمياء الجيولوجية والكيمياء الزراعية وغيرها.

كيمياء حيوية Biochemistry

علم يدرس التركيب الكيميائى للكائنات الحية والتحولات الكيميائية التى تتعرض لها المواد أثناء النشاط الحيوى لهذه الكائنات.

ليبيدات Lipids

تعنى الدهون والمواد الشبيهة بها وهى لا تذوب فى الماء ولكنها تذوب جيدا فى الكحولات كما ينتمى إليها الدهون والشموع والإستيرولات وهى مواد بيولوجية هامة تدخل فى تركيب جميع الخلايا الحية.

ماء Water

هو أكسيد الهيدروجين H_2O ، مركب كيميائى للهيدروجين مع الأكسجين، ويتكون من ٨,٨٨٪ أكسجين و ١١,٢٪ هيدروجين، وهو سائل شفاف لا لون له ولا طعم ولا رائحة وهو أكثر المواد انتشارا فى الطبيعة ويدخل فى تركيب المعادن والصخور والنباتات والحيوانات ويذوب فيه العديد من الأملاح والأحماض والقواعد اللاعضوية، وهناك عدد كبير من التفاعلات لا يجرى إلا فى وجود الماء الذى يلعب دور الوسيط فى تلك التفاعلات.

نتروجين Nitrogen

يشكل النتروجين ٧٨٪ من حجم الجو المحيط بالأرض ويوجد فى الطبيعة على شكل نترات ويدخل فى تركيب البروتينات والأحماض النووية والكلوروفيل والإنزيمات والهرمونات والفيتامينات.

هدم Catabolism

تفكك المواد العضوية فى الجسم الحى مع تحرر كمية من الطاقة ضرورية للنشاط الحيوى وأهم عمليتى هدم فى الجسم هما التنفس والتخمير.

هورمونات Hormones

مواد فعالة بيولوجيا تتكون بكميات قليلة فى الجسم، وهى تنظم عمليات التمثيل الغذائى، وتتكون هرمونات الإنسان والحيوان فى الغدد ذات الإفراز الداخلى ثم تذهب إلى الدم مباشرة، وتؤدى زيادة أو نقص الهرمونات فى الجسم إلى الإصابة بأمراض الغدد المختلفة، وينظم الجهاز العصبى إفراز الهرمونات من الغدد الصماء، ويعرف حالياً حوالى ثلاثين هرمونا.

التمثيل الغذائى : Metabolism

عقب عمليتى هضم الغذاء وامتصاصه، تبدأ مرحلة الاستفادة منه بما يسمى بالتمثيل الغذائى أو الأيض، وينقسم الأيض إلى عمليتين رئيسيتين هما: عملية هدم Catabolism وعملية بناء Anabolism، ويعد أن تمتص المواد الغذائية المهضومة فى صورها النهائية وهى الجلوكوز والأحماض الدهنية والأحماض الأمينية تسلك الطرق التالية:

- تتأكسد كيميائيا لتزويد الجسم بالطاقة اللازمة لمختلف العمليات الفسيولوجية وتعتبر عملية هدم.

- يتخلق منها بروتينلازم جديد للخلايا والأنسجة النامية أو المجددة وتعتبر عملية بناء.

- تخزن لحين الحاجة إليها فيخزن الجلوكوز فى صورة جليكوجين فى الكبد والدهن يخبزن فى مخازن الدهن.

والهدم والبناء عمليتان فسيولوجيتان تجريان فى كل خلية حية وهما فى حالة اتزان، وتتم كل منهما بسلسلة من التفاعلات الكيميائية المعقدة.

التمثيل الحيوى للطاقة فى المجال الرياضى

قائمة المراجع

- ١- أبو العلا عبد الفتاح، محمد صبحي حسنين (١٩٩٧) «فسيولوجيا ومورفولوجيا الرياضى وطرق القياس والتقويم» الطبعة الأولى، دار الفكر العربى، القاهرة .
- ٢- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٤) «فسيولوجيا الرياضة» الطبعة الثانية، دار الفكر العربى، القاهرة .
- ٣- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٠) «الكيمياء الحيوية فى المجال الرياضى»، دار الفكر العربى، القاهرة .
- ٤- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٢) «بيولوجيا الرياضة والأداء الحركى»، دار الفكر العربى، القاهرة .
- ٥- بهاء الدين إبراهيم سلامة، (١٩٩٣) «العلاقة بين عمليات التمثيل الحيوى للطاقة والعتبة الفارقة اللاهوائية لدى لاعبي التحمل والسرعة»، مؤتمر رؤية مستقبلية للتربية والرياضة فى الوطن العربى، كلية التربية الرياضية للبنين بالهرم، جامعة حلوان .
- ٦- بهاء الدين إبراهيم سلامة، (١٩٩٣)، «تتبع معدل ضربات القلب وأقصى استهلاك للاكسجين والسرعة أثناء الجرى على أرض مستوية ومرتفعه ومنحدرة لدى لاعبي المسافات الطويلة» مؤتمر رؤية مستقبلية للتربية البدنية والرياضة فى الوطن العربى، كلية التربية الرياضية للبنين بالهرم جامعة حلوان .
- ٧- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٧)، «تحديد بعض أزمات الجرى ومسافات العدو المرتبطة بعمليات الأيض الهوائى واللاهوائى لإنتاج الطاقة لدى ناشئ كرة القدم، المجلة العلمية للتربية البدنية والرياضة، كلية التربية الرياضية للبنين بالهرم، جامعة حلوان .
- ٨- بهاء الدين إبراهيم سلامة (١٩٩٠) «تأثير التدريب مرتفع ومنخفض الشدة على وزن الجسم ونسبة الدهن وكوليسترول الدم وليبوبروتين عالى ومنخفض الكثافة» المجلة العلمية للتربية البدنية والرياضة، كلية التربية الرياضية للبنين بالهرم، جامعة حلوان .

٩- محمد حسن علاوى (١٩٧٩)، «علم التدريب الرياضى» الطبعة السادسة، دار المعارف بمصر.

١٠- محمد حسن علاوى، أبو العلا عبد الفتاح (١٩٨٤)، «فسيولوجيا التدريب الرياضى، دار الفكر العربى، القاهرة.

١١- محمد على أحمد، صلاح منسى (١٩٩٦)، «تأثير المجهود البدنى حتى الإنهاك على إنزيم كرياتين فوسفوكينيز والجلوكوز وحمض اللاكتيك فى الدم وعلاقتهما ببعض المتغيرات الفسيوكيميائية والإنجاز الرقعى عند مجموعة عمرية مختارة من السباحين»، المجلة العلمية للتربية البدنية والرياضة، كلية التربية الرياضية للبنين بالهرم، جامعة حلوان، العدد السادس والعشرون.

١٢- محمد نصر الدين رضوان (١٩٩٨)، «طرق قياس الجهد البدنى فى الرياضة»، مركز الكتاب للنشر، القاهرة.

13- Ahlborg, G. (1982), Influence of glucose ingestion on Fuel - hormone response during prolonged exercise. J. App. Physiol 41: 686-688.

14- Ahlborg, G., Bgorkman, O. (1990), Splanchnic and muscle Fructose metabolism during and after exercise. J. APP. Physiol. 69: 1244-1251.

15- Arthur.W. (1995), The blood Lactate Response to exercise, Human Kintics, Champaign, Illinois.

16- Brooks, G.A., Butterfied, E., Wolfe, R.R. (1991), Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4,300 m, J. APP. Physiol, 70: 919-927.

17- Brian, J. Sharkey. (1994), Physiology of Fitnes, Human Kinetics, Champigy, Ill.

18- Coggan, A.R., Habash, D.L., (1993), Muscle Metabolism during exercise in young and older untrained and endurance - trained men., T. APP. Physiol.

- 19- Coyle, E.F., Hamilton, M.T. (1991), Carbohydrate Metabolism during intense exercise When hyperglycemic. J. APPL. Physiol, 70: 834- 840.
- 20- Edwards, H.T., Margaria, R. (1993), Metabolic rate, blood Sugar and the utilization of carbohydrate, A.J. Physiol, 108: 203-209.
- 21- Gollnick, P.D, Bayly, W.M. (1988), Exercise intensity, training, diet, and Lactate Concentration in muscle and blood, Med. Sci. Sports Exercis, 18: 334-340.
- 22- Hargreaves, M., Costill, D.L, (1988), Effect of Carbohydrate ingestion on exercise metabolism .J. APPL. physiol. 65: 1553-1555.
- 23- Hurley, B.F., Hagberg, J.M., (1997), Muscle triglycerid utilization during exercise: effect of training. J. APP. Physiol, 60: 562-567.
- 24- Lamb, J., Ingram, C.J., (1984), Essentials of physiology, Second Edition, Blackwell Scientific Publication, New york.
- 25- Marliss, E.b.,etal., (1991), Vranic, M. Glucoregulatory and hormonal responses to repeated bouts of intense exercise in normal mal Subjects . J. APPL. Physiol. 71: 924-933.
- 26- Mar Hargreaves., (1995) Exercise Metabolism, Human Kinetics publishers, Champaign, Ill.
- 27- Martineau, L., Jacobs, I., (1988), Muscle Glycogen utilization during Shivering Thermogenesis in human, J. APP.. physiolo 65: 2046-2050.

- 28- Mark, J. D., (1996)., Carbohydrates, Branched, Chain Amino acids, and Endurance: the Central Fatigue hypothesis, Sports Science Exchange, Vol, 9. N.2.
- 29- Mendenhall, L.A. (1994)., Ten days of exercise training reduces glucose production and utilization during moderate - intensity exercise. Amer. J. Physiol- 266.
- 30- Randle, P.J., Garland, P.B., (1968)., the glucose Fatty acid Cycle, its role in insulin Sensitivity and the metabolic disturbances of diabetes mellitus, Lancet.
- 31- Ronald, J.M. (1996)., Rehydration and Recovery after Exercise, Sport Science exchange, vol.9.
- 32- Rowell, L.B. (1996)., Human Circulation regulation during physical Stress, New York, Oxford university press, 41 9.
- 33- Shaw, W.A.S., (1975)., Interrelationship of FFA and glycerol turnovers in resting and exercising, I. APP. physiol. 39: 30-36.
- 34- Sonne, B., Gelbo, H., (1985)., Carbohydrate metabolism during and after exercise. J. APP. Physion, 59: 1627-1639.
- 35- Stewart, H.B., Tubbs, P., (1993)., Intermediates in Fatty acid oxidation, Biochem J. 132: 61-76.
- 36- Stanley, W. C., Wisneski, J.A., (1996)., Glucose and lactate interrelations during moderate - intensity exercise in humans. Metabolism, 37: 850- 858.
- 37- Taylor, D.J., Styles, P., Matthews, P.M., (1986)., Energetics of Human Muscle: Exercise - induced ATP depletion Mag. Resonance Med.

- 38- Tullson, P.c., whitlock, D.A., (1990)., Adenine nucleotide degradation in Slowtwith red muscle. Am .J. Physiol.
- 39- Tullson, P.C., Terjung, R.L., (1992)., Adenin nucleotid metabolism in Contracting Skeletal muscle. Ex. Sports Sci, Rev. 19: 507-537.
- 40- Wasserman, K., (1986)., Mechanisms and Patterns of blood lactate in creuse during exercise in man, Med. Sci. Sports Exer 18: 344-352.
- 41- Wilmore, J. H., and David, L.C., (1994)., physiology of Sports and exercise, Human kinerics. books, champaign, Illinois.
- 42- Wolf, B.M., Klein, S.P., (1988)., Effect of elevated free fatty acids on glucose oxidation in normal humans, Metabolism 37: 323- 329.
- 43- Wolf, B.M., Klein, S.P., (1990)., Role of triglyceride - Fatty acid Cycle in Controlling fat metabolism in human during and after exercise, Am J. Phy siol. 258: 382 - 389.
- 44- Wolfe, R. R., (1992)., Radioactive and stable isotope tracers in bio-medicine, New york. Wiley - Liss, 133 - 142.
- 45- Wolf, R.R., Jahoor, F. M., (1998)., Evaluation of the isotopic equilibrium between Lactate and pyruvate. Am . J. Phy siol. 254 (EndoCrinol. Mctab.).
- 46- wolf, R. R., Wolf, M. H., Nadel, E. R., (1986)., Isotopic determination of amino acid - urea imteractions in exercise in humans. J. APP. Physiol, 56: 221-229.



دار الفكر العربى

مؤسسة مصرية للطباعة والنشر والتوزيع

تأسست ١٣٦٥ هـ - ١٩٤٦ م

مؤسسها : محمد محمود الخضرى

الإدارة : ١١ ش جواد حسمى - القاهرة

ص. ب : ١٣٠ - الرمز البريدى ١١٥١١

فاكس : ٣٩١٧٧٢٣ (٠٠٢٠٢)

ت : ٣٩٢٥٥٢٣ - ٣٩٢٠٩٥٦

نشاط للؤسسة ١ - طبع ونشر وتوزيع جميع الكتب العربية فى شتى مجالات

المعرفة والعلوم

٢ - استيراد وتصدير الكتب من وإلى جميع الدول العربية

والأجنبية.

تطلب جميع منشوراتنا من فروعنا بجمهورية مصر العربية :

فرع مدينة نصر ٩٤ شارع عباس العقاد - المنطقة السادسة .

وإدارة التسويق : ت : ٢٧٥٢٧٩٤ - ٢٧٥٢٩٨٤ .

فاكس : ٢٧٥٢٧٣٥ .

فرع جواد حسمى : ٦ أ شارع جواد حسمى - القاهرة .

ت : ٣٩٣٠١٦٧ .

فرع الدقى : ٢٧ شارع عبد العظيم راشد المتفرع من شارع

محمد شاهين - العجوزة . ت : ٣٣٥٧٤٩٨ .

وكذلك تطلب جميع منشوراتنا من الكويت من مؤسسة : **دار الكتاب الحديث**

شارع الهلالى - برج الصديق - ص ب : ٢٢٧٧٥٤ الصفاة 130880 الكويت

ت : ٥/٧ / ٢٤٦٠٦٣٤ - فاكس ٢٤٦٠٦٢٨ (٩٦٥)

٩٩/٢١٠٨	رقم الإيداع
977- 10 - 1215 - 0	L. S. B. N التزقيم الدولي



الدكتور

بهاء الدين إبراهيم سلامة

- * أستاذ فسيولوجيا الرياضة.
- * رئيس قسم علوم الصحة الرياضية بكلية التربية الرياضية جامعة المنيا.
- * عضو المجلس الدولي للصحة والتربية البدنية.
- والترويح
- * عضو بـعدة هيئات علمية ومهنية.
- * محاضرا بالأكاديمية الأولمبية لإعداد القادة.
- * له عدد كبير من البحوث العلمية المنشورة في دوريات ومؤتمرات محلية ودولية.
- * أشرف على عديد من رسائل الماجستير والدكتوراه.
- * له مؤلفات علمية من بينها:
- فسيولوجيا الرياضة.
- الصحة والتربية السحية.
- بيولوجيا الرياضة والأداء الحركي.
- الكيمياء الحيوية في المجال الرياضي.
- الجوانب السحية في التربية الرياضية.
- في علم وظائف الأعضاء.
- مقدمة في علم وظائف الأعضاء.
- صحة الغذاء ووظائف الأعضاء.

هذا الكتاب

يقدم شرحا وافيا لطبيعة التغيرات الكيميائية التي تحدث في جسم الإنسان نتيجة عمليات التمثيل الحيوى للطاقة وعلاقتها بعمليات التكيف التي تحدث لأعضاء وأجهزة الجسم لكى تواجه الجهد والتعب الناتج عن أنواع التدريب البدنى.

ويقدم الكتاب تحليلا لأدق عمليات أيض الطاقة للمواد الكربوهيدراتية والدهنية والبروتينية وكيف يتم الاستفادة منها أثناء مختلف عمليات التدريب البدنى.

كما يتناول عرضا وافيا لموضوعات أيض الطاقة والوظائف الحيوية لجميع الهورمونات والإنزيمات التي تشترك في إتمام عمليات إخراج الطاقة.

كما يتناول أيضا الأيض الهوائى واللاهوائى للطاقة ومراحل عمليات الاستشفاء التي تحدث بجسم الفرد الرياضى عقب التدريب البدنى.

تطلب جميع منشوراتنا بالكويت من وكيلنا الوحيد دار الكتاب الحديث